

UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**Estudo da implementação de medidas de eficiência
energética num hotel**

Versão Pública

Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente

Tiago Miguel Veloso Nepomuceno

Dissertação orientada por:
Prof. Doutora Marta João Nunes Oliveira Panão

Resumo

O elevado consumo energético no mundo é uma preocupação bastante recorrente nos dias de hoje, nesse sentido, os Estados Membros da UE têm promovido uma racionalização do consumo de energia, através do aumento de eficiência energética, que beneficia não só o planeta como possibilita o desenvolvimento económico das organizações e sectores de actividade, que pretendam implementar medidas energeticamente mais eficientes. Em Portugal, os governos têm vindo a apoiar o aumento da eficiência energética e a incorporação de energias renováveis para auto consumo. O presente estudo tem como base a implementação de algumas dessas políticas energéticas e a observação do impacto por elas provocado num edifício de serviço, mais precisamente um hotel.

A avaliação dos consumos de energia do hotel revelou algumas áreas de intervenção, com a finalidade de diminuir o consumo de energia eléctrica. Este estudo avalia o impacto da aplicação de duas medidas de eficiência energética no consumo global do hotel, onde foram estimados períodos de retorno de investimento, juntamente com redução de consumos energéticos e poupanças anuais, para que fosse justificado o investimento inicial. A primeira medida implementada foi a substituição dos sistemas de iluminação por tecnologia LED e a segunda, a aplicação de películas de sombreamento nos vãos envidraçados, de espaços onde foram detetados problemas de sobreaquecimento. Mediante a aplicação de ambas as medidas é esperada uma redução de 8% no consumo global de energia eléctrica do hotel com um período de retorno médio do investimento de 3 anos. Foi ainda proposta uma medida adicional de gestão do consumo de energia, que consiste no dimensionamento de um sistema solar fotovoltaico para auto-consumo em função da área disponível, que, apesar de representar uma poupança de consumo de energia semelhante às duas medidas anteriores, apresenta um período de retorno de investimento de cerca de 19 anos, o que se considera ser um valor elevado.

Palavras-chave: Eficiência energética, tecnologia LED, película de sombreamento, dimensionamento fotovoltaico, poupança energética

Abstract

Nowadays the high energetic consumption through out the world is becoming more and more of a recurring concern, in a way that the member states of the EU have been promoting the rationalization of energetic consumption through the raise of energetic efficiency, which benefits not only the planet but also allows the financial development of organizations and sectors of activity that are willing to implement more efficient measures in terms of energy. In Portugal past governments have come to support the raise of energetic efficiency and the incorporation of renewable energies for auto consumption. The following paper studies the implementation of some of the above mentioned energetic policies and the observation of their impact in a services building, more precisely an hotel.

The evaluation of the hotel's energetic consumptions revealed some areas of intervention with the intent of lowering the consumption of electric energy. This paper evaluates the impact with the implementation of two energetic efficiency measures in the hotel's global consumption, where have been estimated periods for the return of the investment made alongside with the reduction of energetic consumptions and annual saving so that the initial investment is justified. The first measure to be implemented was the substitution of the interior lighting systems with LED technology, and the second one the application of shading films in window glazing where cases of over heating had been identified. With the implementation of these measures is expected a reduction of 8% of the hotel's global consumption of electric energy with a payback period of 3 years. It was also proposed an additional measure for the management of energetic consumption based in the sizing of a photovoltaic solar system for auto consumption in function of the available area, which, despite representing an equivalent saving to the measures mentioned before, presents a payback period of around 19 years, which is considered to be an elevated period of time.

Keywords: Energy efficiency, LED technology, shading films, photovoltaic sizing, energy saving.

Agradecimentos

Antes de mais queria agradecer à Eng.^a Filipa Menezes, e ao restante pessoal da empresa Blastingfm, por todo o profissionalismo e apoio prestado durante o desenvolvimento das atividades, bem como a oportunidade dada, que considero ter-me ajudado na integração na realidade empresarial e no desenvolvimento da minha capacidade de trabalho. Pretendo ainda agradecer por todos os conhecimentos e informação que me foi transmitida durante o estudo.

Da mesma forma gostaria de agradecer à Prof. Dr. Marta Oliveira Panão que, apesar do seu avultado volume de trabalho, permitiu que este trabalho se realizasse. Agradeço por toda a ajuda concedida, principalmente no encaminhamento assertivo para a superação dos problemas verificados ao longo do estudo.

À minha família, por todos os valores transmitidos que fizeram de mim a pessoa que sou hoje, e que me permitiram superar as várias adversidades encontradas. Agradeço também, por me disponibilizarem tempo e paciência para suportar os momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, por todo o apoio nas alturas de maior carga de trabalho, especialmente à Francisca, pela inspiração proporcionada, e à Mariana, pelo apoio e compreensão, essencialmente por respeitar todas as horas dedicadas à realização deste trabalho.

Índice

Resumo.....	iii
Abstract	iv
Agradecimentos.....	v
Índice.....	vii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tabelas.....	x
Simbologia e Notações.....	xi
Capítulo 1 – Introdução.....	17
1.1 Enquadramento.....	17
1.2 Objetivos	19
1.3 Organização da dissertação	19
Capítulo 2 – Metas, Prazos e Legislação Energética.....	21
2.1 Política energética europeia (diretiva 2012/27/UE)	21
2.2 Roteiro da Comissão para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050	22
2.3 Estratégia nacional	22
2.3.1 PNAEE 2016.....	23
2.3.2 PNAER 2020.....	26
2.4 Norma EN ISO 50001	29
2.4.1 Requisitos gerais	29
2.4.2 Planeamento energético	30
2.4.3 Verificação e revisão.....	32
2.4.4 Objetivo.....	32
2.5 Autoconsumo Decreto-Lei 153/2014	32
2.5.1 Disposições gerais.....	33
2.5.2 Contagem e disponibilização de dados nas unidades de produção para autoconsumo ..	33
2.5.3 Contrato de venda de eletricidade ao comercializador de último recurso (CUR)	33
2.5.4 Custos e remunerações	34
Capítulo 3 – Medidas de Eficiência Energética	37
3.1 Tecnologia LED	37
3.1.1 Principais características	37
3.1.2 Temperatura da cor	38
3.1.3 Tempo de vida útil e confiabilidade.....	39
3.1.4 Vantagens vs. Desvantagens da tecnologia LED	40
3.2 Estudo de aplicação de película de sombreamento	42
3.2.1 Método horário simplificado.....	42
3.2.2 Parâmetros relativos a vãos envidraçados.....	48
3.2.3 Tipo de filtros solares.....	48
3.3 Sistemas Solares Fotovoltaicos (<i>On-Grid</i> vs. <i>Off-Grid</i>).....	50
3.3.1 Funcionamento adequado de um sistema PV.....	51
3.3.2 Principais componentes de um sistema <i>On-Grid</i>	51
3.3.3 Horas Pico Solares e Potência de Pico Total.....	53
Capítulo 4 – Descrição global do hotel	55
4.1 Análise prévia à instalação	55
4.2 Avaliação preliminar	56
Capítulo 5 – Substituição da iluminação.....	57
5.1 Planeamento Inicial	57
5.2 Plano de implementação da MCRE.....	59

5.3 Estudo da substituição da iluminação.....	60
5.3.1 Quantificação da poupança energética.....	60
5.3.2 Poupança económica esperada.....	61
5.3.3 Período de retorno simples do investimento	63
5.4 Avaliação complementar	64
Capítulo 6 – Aplicação de Película de Sombreamento nos vãos envidraçados	65
6.1 Características do espaço.....	65
6.1.1 Ganhos internos.....	66
6.1.2 Qualificação da classe de Inércia Térmica interior	66
6.2 Cálculos térmicos	67
6.2.1 Dados inseridos	67
6.2.2 Necessidades de climatização anuais	69
6.2.3 Custos com climatização.....	72
6.3 Redução do consumo energético anual	72
6.3.1 Características técnicas da película.....	73
6.3.2 Poupança energética esperada.....	73
6.4 Avaliação económica	74
6.4.1 Período de retorno do investimento	74
Capítulo 7 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico para autoconsumo	77
7.1 Autoconsumo ou Autoconsumo com excesso de produção	77
7.2 Características técnicas e físicas do sistema PV.....	78
7.2.1 Coletores solares	80
7.2.2 Arranjo de coletores	80
7.3 Calculo potência pico do sistema PV	81
7.4 Metodologia I.....	82
7.4.1 Sistema PV.....	83
7.4.2 Componentes Físicos do Sistema.....	83
7.4.3 Poupança energética esperada.....	85
7.4.4 Período de retorno simples de investimento	86
7.4.5 Avaliação económica do sistema PV	86
7.5 Metodologia II.....	87
7.5.1 Sistema PV.....	88
7.5.2 Componentes Físicos do Sistema.....	88
7.5.3 Poupança energética esperada.....	88
7.5.4 Período de Retorno simples de investimento	88
7.5.5 Avaliação económica do sistema PV	89
Capítulo 8 – Resultados e discussão	91
Referências	93
Anexos.....	97

Índice de Figuras

Figura 1 – Consumo de energia final mundial, em Mtep [3].	18
Figura 2 – Consumo de energia elétrica em Portugal [5].	18
Figura 3 - Evolução de Potência FER instalada em Portugal [6].	26
Figura 4 – Evolução da Produção de Energia Elétrica FER em Portugal [6].	27
Figura 5 – Estimativa da evolução da capacidade instalada FER [6].	28
Figura 6 – Estimativa da evolução da produção de eletricidade FER [6].	28
Figura 7 – Modelo de sistema de gestão de energia para esta Norma (adaptado) [9].	30
Figura 8 – Diagrama representativo dum processo de planeamento energético (adaptado) [9]. ..	31
Figura 9 – Escala da temperatura da cor [15].	38
Figura 10 – Projeções de eficácia e preço por unidade de lâmpada LED até 2014 [17].	41
Figura 11 – Circuito térmico de um modelo 5R1C para uma zona térmica [18].	43
Figura 12 – Curvas da transmitância espectral para vidros com revestimento de baixa emissividade, <i>low-e</i> [23].	49
Figura 14 – Exemplo de problemas provocados pelo sobreaquecimento.	64
Figura 15 – Valores de entrada para o ficheiro Excel de cálculo de método dinâmico horário simplificado (CSTB hourly proposal_with_shading).	69
Figura 17 – Balanço de energia térmica para climatização do quarto <i>tipo</i> (kWh/mês).	70
Figura 18 – Comparação da energia térmica necessária para climatização, com película (direita) e sem película (esquerda).	73
Figura 19 – Exemplo comparativo entre duas UPAC [11].	77
Figura 20 – Diagrama de carga do hotel.	81
Figura 21 – Exemplo de excesso de produção esperado dimensionamento PV para estação de verão.	83
Figura 22 – Exemplo da produção esperada dimensionamento PV para a estação de inverno. ..	83
Figura 23 – Diagrama representativo da forma de ligação de uma UPAC à rede [36].	84

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Impacte de programas no setor Residencial e Serviços [6].	24
Tabela 2 – Exemplo $C_{UPAC,m}$ paga para UP instalada em 2014 [11].	35
Tabela 3 – Comparação entre a vida útil de alguns sistemas de iluminação [16].	39
Tabela 4 – Área efetiva e Capacidade térmica em função da Classe de inércia.	45
Tabela 5 – Coeficiente de absorção da radiação solar numa superfície opaca, $\alpha_{s,op}$ [19].	47
Tabela 6 – Número e potência das lâmpadas constituintes dos diferentes espaços.	57
Tabela 7 – Quantidades de transformadores constituintes do sistema intervencionado.	58
Tabela 8 – Número total e tipo de lâmpadas constituintes do sistema.	58
Tabela 9 – Potência instalada para iluminação, pré-intervenção.	58
Tabela 10 – Número e potência das lâmpadas a instalar.	59
Tabela 11 – Potência teórica instalada para iluminação e tempo de utilização previsto, após-intervenção.	59
Tabela 12 – Potência instalada, antes e depois da intervenção.	60
Tabela 13 – Alteração de potência e poupança energética anual.	61
Tabela 14 – Ciclo diário para fornecimento elétrico em BTE e BTN em Portugal Continental em 2015 [27].	62
Tabela 15 – Custo de compra de eletricidade à RESP.	62
Tabela 16 – Tarifa de Poupança média em diária no período de funcionamento de 24 horas.	62
Tabela 17 – Tarifa de Poupança média diária no período de funcionamento dos escritórios.	63
Tabela 18 – Estimativa dos custos de utilização.	63
Tabela 19 – Poupança económica anual.	63
Tabela 20 – Características dos elementos da fachada exterior.	66
Tabela 21 – Ganhos internos sensíveis dos ocupantes.	66
Tabela 22 – Ganhos internos sensíveis da iluminação.	66
Tabela 23 – Ganhos internos sensíveis totais.	66
Tabela 24 – Abertura solar dos vãos envidraçados sem película.	68
Tabela 25 – <i>Set points</i> de funcionamento do ar condicionado dos quartos.	68
Tabela 26 – Energia elétrica necessária para climatização de um quarto <i>tipo</i> .	71
Tabela 27 – Custo com a climatização.	72
Tabela 28 – Abertura solar do vão envidraçado com película.	73
Tabela 29 – Poupança energética anual para climatização por quarto.	74
Tabela 30 – Previsão dos custos de consumo de energia elétrica anuais por quarto.	74
Tabela 31 – Simulação de produção solar para inclinação ótima (49^0) e para orientação a sul (0^0) [34].	79
Tabela 32 – Irradiância local, em Wh/m ² dia, inclinação ótima (49^0) e igual à latitude no local (39^0) [34].	80
Tabela 33 – Relação entre energia consumida diariamente e a mínima consumida por período de 15 minutos para os meses de referência.	82
Tabela 34 – Tarifa média ponderada para o período de produção da UPAC.	85
Tabela 35 – Custo dos principais componentes do sistema PV.	86
Tabela 36 – Cálculo da E_{act} .	87
Tabela 37 – Custo de obtenção dos componentes do sistema PV.	89

Simbologia e Notações

Acrónimos

5R1C	Cinco Resistências e uma Capacitância
AC	Corrente Alterna
AQS	Águas Quentes Sanitárias
BT	Baixa Tensão
BTE	Baixa Tensão Especial
CIEG	Custos de política energética, de sustentabilidade e de interesse económico geral
CUR	Comercializador de Último Recurso
DC	Corrente Contínua
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FAI	Fundo de Apoio à Inovação
FEE	Fundo de Eficiência Energética
FER	Fontes de Energia Renovável
FPC	Fundo Português de Carbono
IDE	Indicador de Desempenho Energético
I&DT	Investigação e Desenvolvimento Tecnológico
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
IV	Infravermelho
LED	<i>Light Emittig Diode</i>
LSG	<i>Light-to-solar Gain</i>
MPP	Pontos de Potência Máxima
MRCE	Medida de Racionalização de Consumo de Energia
O&M	Operação e Manutenção
OMIE	Operador do Mercado Ibérico de Energia
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PNAEE	Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética
PNAER	Plano Nacional de Ação para Energias Renováveis
PPEC	Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica
PR	<i>Performance Ratio</i>
PRS	Período de Retorno Simples
PSH	Horas Solares Pico

PV	Fotovoltaico
QREN	Quadro de Referência Estratégico Nacional
RESP	Rede Elétrica de Serviço Público
RGB	<i>Red Green and Blue</i>
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SERUP	Sistema Eletrónico de Registo da UPAC e da UPP
SGE	Sistema de Gestão de Energia
SHGC	Coeficiente de Ganhos Solares Térmicos
STC	<i>Standard Test Conditions</i>
SW	Sudoeste
TV	Transmitância Visível
UE	União Europeia
UP	Unidade de Produção
UPAC	Unidade de Produção para Auto Consumo
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
UV	Ultravioleta

Nomenclatura

a	Taxa de atualização (%)
A_{elem}	Área de um elemento (m^2)
A_f	Área útil de pavimento (m^2)
A_{gl}	Área total de vidro (m^2)
A_j	Área do elemento j (m^2)
A_m	Área de massa efetiva (m^2)
A_{op}	Área dos elementos opacos (m^2)
$A_{sol,k}$	Área efetiva de incidência radiativa da superfície k (m^2)
A_{Tot}	Soma de todas as áreas das superfícies (m^2)
A_w	Área dos vãos envidraçados (m^2)
C_a	Custo unitário médio atualizado (€/kWh)
C_i	Custo inicial do investimento (€)
C_m	Capacitância térmica (J/K)
COP	Coeficiente de performance de um sistema de climatização
$C_{UPAC,m}$	Compensação paga no mês m por cada kW de potência instalada na unidade de produção (€/kW)

d_{om}	Percentagem do valor para operação e manutenção (O&M) (%)
E_{act}	Produção de energia elétrica total atualizada (Wh)
E_{ano}	Quantidade de energia elétrica estimada, que o sistema PV consegue produzir ao longo do ano (Wh)
EER	Coefficiente de eficiência energética de um sistema de climatização
$E_{fornecida,m}$	Energia fornecida no mês m (Wh)
E_m	Produção média de energia elétrica mensal (Wh)
E_{PV}	Baseline da produção energética por um sistema PV (Wh)
F_F	Razão entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado
$F_{sh,gl}$	Fator de redução de sombreamento para dispositivos móveis
$F_{sh,k}$	Fator unitário de sombreamento de elementos exteriores
$g_{T,w}$	Fator solar global de um vão envidraçado com proteções solares ativas
g_w	Fator solar do vidro
h_{is}	Coefficiente de transmissão de calor entre os nodos Θ_i e Θ_s [W/(m ² .K)]
$H_{tr,elem}$	Coefficiente de transferência térmica do elemento (W/K)
$H_{tr,em}$	Coefficiente de transferência térmica entre as temperaturas exterior e de massa (W/K)
$H_{tr,is}$	Coefficiente de transferência térmica entre as temperaturas interior e de estrela (W/K)
$H_{tr,ms}$	Coefficiente de transferência térmica entre as temperaturas de massa e de estrela (W/K)
$H_{tr,op}$	Coefficiente de transferência térmica por transmissão através dos elementos opacos (W/K)
$H_{tr,w}$	Coefficiente de transferência térmica por transmissão através dos vãos envidraçados (W/K)
H_{ve}	Coefficiente de transferência térmica por ventilação (W/K)
I	Intensidade de corrente (A)
$I_{diária}$	Irradiância média diária do mês de referência (Wh/m ²)
I_m	Irradiância média incidente por dia (Wh/m ²)
I_{max}	Intensidade de corrente máxima (A)
I_{med}	Somatório da irradiância global média mensal [kWh/(m ² .mês)]
I_{mpp}	Intensidade de corrente no ponto de máxima potência (A)
I_{SC}	Intensidade de corrente em curto-circuito (A)
$I_{sol,j}$	Radiação solar média incidente numa superfície com orientação j (W/m ²)
I_t	Investimento total (€)
k_j	Capacidade térmica por área de elemento de construção j (J/m ² K)

K_t	Coeficiente de ponderação a aplicar ao $V_{CIEG,t}$, medido a partir da potência total registada das UPAC no Sistema Elétrico Nacional (SEN), no ano t
m	Mês de referência
n	Anos de vida útil
N_c	Necessidades de climatização (Wh_e)
$N_{c,t}$	Energia térmica necessária para aquecimento/arrefecimento (Wh_t)
$OMIE_m$	Valor resultante, da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês m , ($€/kWh$)
P	Potência (W)
P_I	Poupança anual resultante da aplicação da MRCE (€)
P_{nom}	Potência nominal (W)
P_{op}	Potência de operação (W)
P_{pico}	Potência pico (W_p)
P_{UPAC}	Valor da potência instalada da UPAC, que deverá constar no registo de exploração (W_p)
Q_{cool}	Energia calorífica necessária para arrefecer o espaço (W_t)
Q_{heat}	Energia calorífica necessária para aquecer o espaço (W_t)
Q_{int}	Ganhos térmicos internos (W)
Q_{is}	Ganhos térmicos sensíveis (W)
$Q_{is,tot}$	Ganhos térmicos sensíveis totais (W)
Q_{gn}	Ganhos térmicos (W)
$Q_{HV,nd}$	Necessidades de energia para aquecimento e/ou arrefecimento (W)
Q_{sol}	Ganhos térmicos solares (W)
R	Resistência (Ω)
R_{se}	Resistência térmica superficial exterior [$(m^2K)/W$]
$R_{UPAC,m}$	Remuneração da energia elétrica fornecida à RESP pelo produtor no mês m (€)
U_{elem}	Coeficiente de transmissão térmica do elemento (W/m^2K)
U_{op}	Coeficiente de transmissão térmica superficial para elementos opacos [$W/(m^2.K)$]
U_w	Coeficiente de transmissão térmica para os elementos envidraçados [$W/(m^2.K)$]
V	Tensão (V)
$V_{CIEG,t}$	Valor que permite recuperar os CIEG da respectiva unidade de produção apurado no ano t ($€/W$)
V_{mpp}	Tensão no ponto de máxima potência (V)
V_{OC}	Tensão em circuito aberto (V)

\dot{V}_{ve}	Caudal de ventilação (m ³ /h)
t	Ano de referência
$\alpha_{s,op}$	Coefficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca
Λ_{at}	Razão entre a área de superfícies interiores e a área de pavimento
θ_{air}	Temperatura média do ar interior
θ_i	Temperatura interna (°C)
θ_e	Temperatura exterior (°C)
θ_m	Temperatura de massa (°C)
θ_s	Temperatura estrela (°C)
θ_{set}	<i>Set point</i> de temperatura (°C)
θ_{sup}	Temperatura do ar ventilado (°C)
$\Phi_{HC,nd}$	Energia horária necessária para aquecimento/arrefecimento (W/m ²)
Φ_{int}	Fluxo de calor proveniente das fontes de calor internas (W/m ²)
$\Phi_{int,e}$	Fluxo de calor proveniente dos equipamentos (W/m ²)
$\Phi_{int,i}$	Fluxo de calor proveniente da iluminação (W/m ²)
$\Phi_{int,oc}$	Fluxo de calor proveniente da ocupação (W/m ²)
Φ_{sol}	Fluxo de calor proveniente de fontes de aproveitamento solar (W/m ²)
ρ_a	Massa volúmica do ar (kg/m ³)
c_a	Calor específico do ar [J/(kg.K)]

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Enquadramento

De forma consensual, o crescimento populacional subentende consequências lógicas como um aumento de produção, que visa suprimir necessidades de consumo das populações, e um crescimento de serviços, em prol de uma sociedade que os valoriza como principais alicerces do seu bom funcionamento. Estes conceitos estão tão intrinsecamente relacionados, que sem os mencionar, seria impossível falar de consumos energéticos.

Fazendo uma breve referência ao crescimento populacional, podemos, através dos dados retratados no Anexo A, mencionar um efetivo crescimento desde 1950 até aos dias de hoje, potenciador de um aumento desmesurado de consumo energético, que até há bem pouco tempo não considerava premissas como a sustentabilidade energética, denunciando assim uma falta de consciência ecológica, que hoje surge como uma das grandes preocupações mundiais [1].

O problema do desenvolvimento sustentável e da eficiência energética tem um papel modulador de culturas e padrões comportamentais, já que o ser humano é o principal ator de transformação, tendo como responsabilidade encarar seriamente o seu papel de consumidor e exigir, como direito, um desenvolvimento mais justo e equilibrado. A tomada de consciência de uma posição ecologicamente ativa surge de uma educação virada para um consumo sustentável, isto é, uma educação que defende um consumo que tem por base o respeito por todos os recursos ambientais, que os entende como finitos ou não, e que visa obter a maior rentabilidade e eficácia sob perspetivas paralelamente ecológicas e económicas.

Em 1968, surge um grupo, *O Clube de Roma*, composto por pessoas influentes, pessoas do mundo, reconhecidas em inúmeras áreas, que pretendiam demonstrar e expor a sua preocupação com questões relacionadas com o crescimento económico e com os recursos limitados. Defendiam que a má instrumentalização dos recursos do planeta iria ter repercussões que deviam ser verdadeiramente consideradas. Neste sentido, em 1972, surge a publicação de um relatório, *Relatório dos Limites do Crescimento*, onde cientistas do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), se debruçavam sobre inúmeras situações cruciais para o bom desenvolvimento da humanidade, entre muitas, o futuro do planeta, a poluição e a energia. Matematicamente, o MIT conseguiu concluir que o planeta não iria suportar o crescimento populacional devido à pressão desmedida gerada sobre recursos naturais e energéticos e, conseqüentemente à poluição, mesmo tendo do nosso lado a evolução tecnológica. É neste contexto, que surge uma mudança no paradigma até ali em vigor e nasce uma nova preocupação, que necessitava de soluções eficazes e que passavam por uma responsabilização por parte de Governos e líderes políticos, medidas que só considerassem o crescimento económico à luz das fragilidades do planeta, não negligenciando e reconciliando o progresso sustentável dentro de limitações ambientais [2].

Não só no âmbito ecológico, a preocupação com o consumo de energia e medidas de eficiência energética é a base da doutrina que a Evolução Tecnológica nos impõe, ou seja, evoluir tecnologicamente pressupõe necessariamente um maior consumo de energia, evoluir tecnologicamente também pressupõe paralelamente um maior conhecimento sobre eficiência energética e hoje, mais que nunca, são questões a ter em conta com o objetivo de criar estratégias coesas para responder às necessidades futuras. No que diz respeito ao aumento do consumo energético final, podemos concluir que este, nos últimos anos, foi proporcional ao aumento populacional, tendo por base a Figura 1 [3]. Nesse sentido, o uso eficiente da energia é um objetivo a alcançar até porque ainda apresenta diversos *handicaps*, já que as a maioria dos equipamentos e infraestruturas presentes nos setores tanto industriais, como habitacionais foram desenvolvidos e implementados numa época em que a escassez de energia não era uma inquietação, dada a sua abundância e o seu baixo valor no mercado, associados a fatores como a falta de compreensão ambiental [4].

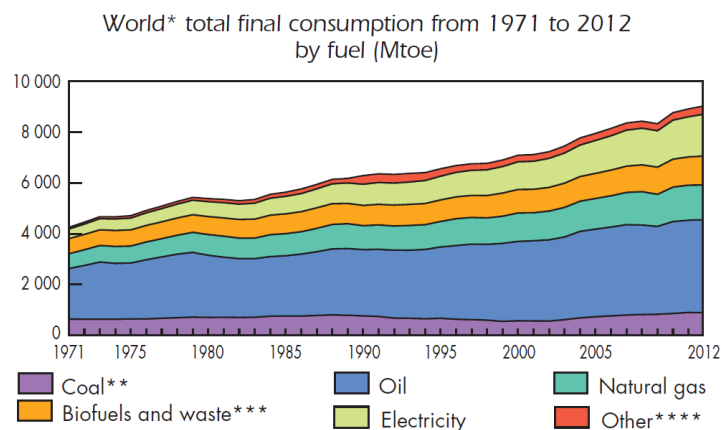


Figura 1 – Consumo de energia final mundial, em Mtep [3].

Em Portugal, no período entre 1994 e 2010, o consumo de energia elétrica tem vindo a aumentar de forma consistente (Figura 2), considerando o consumo de energia elétrica sob todos os seus domínios, entre os quais, os setores doméstico e não-doméstico, industrial ou económico primário, entre outros. É em 2010, que o consumo de energia elétrica atinge valores máximos, sendo observável no somatório final, que é neste mesmo ano que o consumo global começa tendencialmente a reduzir até 2014. Observamos também que, no setor doméstico, os valores referentes ao consumo tendem a diminuir, por outro lado, no setor não-doméstico, que dá enfoque aos serviços, tal redução não foi verificada, antes pelo contrário, verifica-se que existiu um aumento desse mesmo consumo. O que nos remete novamente para os ditos “handicaps”, referidos anteriormente, que dizem respeito mais uma vez ao défice de investimento em requalificação e renovação do setor energético quando aplicado aos serviços, indispensáveis da sociedade moderna, como os transportes, hotelaria ou restauração, entre todos os outros.

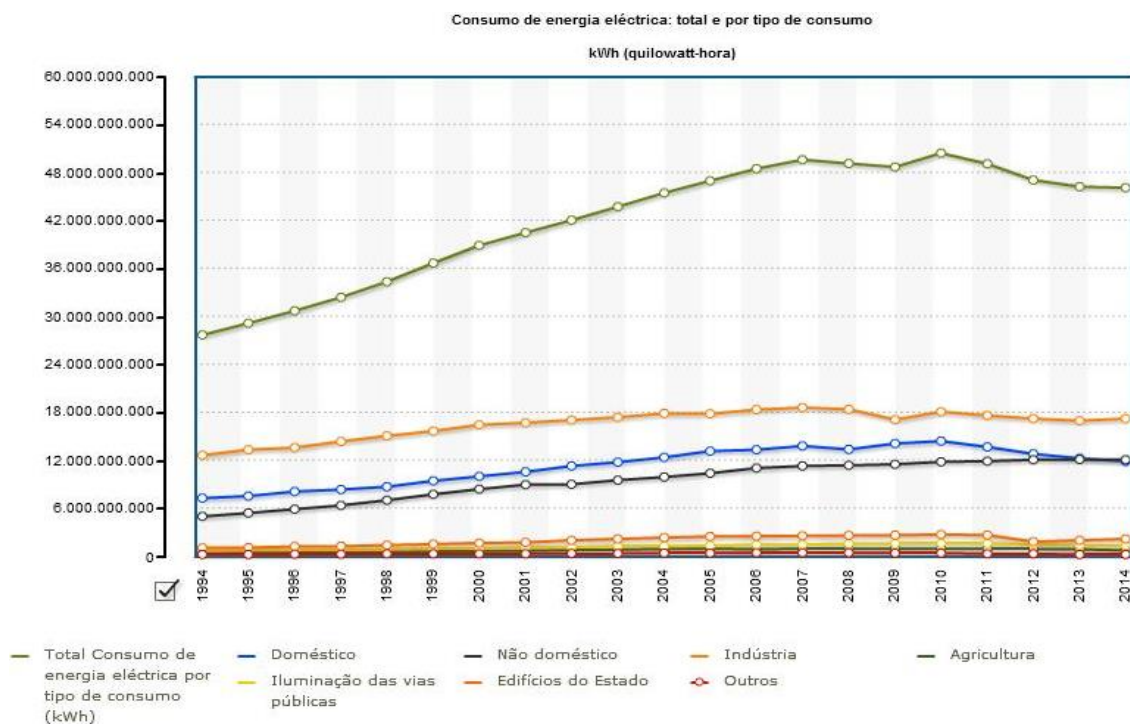


Figura 2 – Consumo de energia eléctrica em Portugal [5].

Neste sentido, surge a vontade de implementação de medidas de racionalização de consumo de energia (MRCE), exatamente no setor mencionado anteriormente, o setor dos serviços, mais precisamente na hotelaria. A hotelaria surge como um setor que pressupõe condições de conforto exigentes, pelo que, só existirá diminuição de consumo energético se garantida a eficiência energética na utilização dos recursos. Mesmo com a análise de alguma literatura é difícil quantificar o peso do consumo de energia elétrica deste setor no global de consumo, sendo só feita referência aos setores de serviços ou a não-doméstico de forma generalizada.

1.2 Objetivos

A presente dissertação tem como principal objetivo a implementação de medidas que proporcionem o aumento da eficiência energética num hotel, indo ao encontro do cumprimento de algumas metas consideradas na Resolução de Conselho de Ministros nº 20 [6], medidas essas que pretendem solucionar o problema do consumo energético elevado.

Diante a análise das características técnicas do edifício e a identificação das causas do elevado consumo de energia, as medidas a implementar irão ocorrer em diversas etapas. Este estudo trata a forma como cada uma destas medidas foi analisada, bem como, para algumas delas, a forma como foram implementadas com os resultados subsequentes, sendo essas:

- A substituição do sistema de iluminação pré-existente por um sistema de tecnologia LED;
- A análise que sustente a possível instalação de uma Unidade de Produção para o autoconsumo (UPAC), dimensionada no sentido de potenciar o retorno do investimento para garantir a viabilidade económica do projeto;
- A aplicação de uma película de sombreamento nas janelas, após a interpretação de dados que comprovam um problema de sobreaquecimento, em zonas específicas.

No que diz respeito à última medida recorre-se a uma previsão das necessidades de climatização dos espaços após a intervenção. Esse estudo tem subjacente a simulação térmica de um dos quartos *tipo*¹, feita através do método horário simplificado, utilizando a aproximação com um circuito elétrico composto por cinco resistências e uma condutância (5R1C). Finalmente serão apresentadas as melhorias teóricas sobre duas perspetivas essenciais, económica e energética.

A aplicação destas medidas visa a redução do consumo final de energia elétrica do edifício, que constitui a única fonte de energia. Para além disso espera-se que algumas destas medidas venham a promover uma melhoria nas condições de conforto em alguns dos espaços.

1.3 Organização da dissertação

O presente documento está dividido em oito capítulos com os seguintes conteúdos:

Capítulo 1. Começa por fazer uma análise à relação direta entre o crescimento populacional e o consumo energético. É também revisto o primeiro momento em que surge a necessidade de implementação de medidas de sustentabilidade energética, quase um fator de carácter obrigatório no sentido ecológico. São também analisados dados que configuram o consumo de energia elétrica da população portuguesa, no sentido de identificar setores com um maior consumo energético.

Capítulo 2. Neste capítulo é feita uma revisão bibliográfica das metas, prazos e legislação energética na Europa e em Portugal, nomeadamente, uma breve análise das políticas energéticas

¹ Quartos onde foram identificadas temperaturas médias elevadas

européias e a Diretiva 2012/27 apresentada pela união europeia, das quais surge também a subsequente análise dos planos nacionais de ação para eficiência energética e energias renováveis, PNAEE e PNAER, respetivamente. Nesta revisão foi igualmente incluída a Norma Europeia [7] ISO 50001 e o Decreto-lei referente ao autoconsumo, [8] DL 153/2014.

Capítulo 3. Recolhe informação bibliográfica do estado de arte de algumas das MRCE, que serão propostas ao longo do estudo. É ainda apresentada informação relevante sobre a tecnologia LED, bem como características principais de funcionamento de uma unidade de produção fotovoltaica. São ainda referidas as características e os tipos de películas de sombreamento para os vãos envidraçados. Nesta breve revisão é colocado em destaque a importância da eficiência energética na avaliação dos impactos positivos da aplicação das MRCE propostas.

Capítulo 4. Consiste na apresentação do planeamento energético realizado, tendo por base a referência às MRCE implementadas no hotel, nomeadamente a substituição dos sistemas de iluminação existente nos quartos e *halls* por tecnologia mais eficiente, dimensionamento de uma unidade de produção fotovoltaica (PV) para autoconsumo e aplicação de uma película de sombreamento nos vãos envidraçados.

Capítulo 5. Estudo da aplicação das MRCE relativamente à substituição da iluminação, estimando as poupanças energéticas anuais e a consequente redução de faturação em relação à energia elétrica, bem como o tempo de retorno do investimento.

Capítulo 6. Estudo da aplicação nos vidros de uma película de sombreamento em dez quartos *tipo*, expostos às mesmas condições, orientados a sudoeste, no estado inicial sem sombreamento dos vãos envidraçados. Para a simulação térmica do edifício recorre-se ao método horário simplificado, pretendendo-se estimar a redução de consumo de eletricidade para climatização e determinar o *payback* da MRCE aplicada neste capítulo.

Capítulo 7. Realização de um estudo de implementação de um sistema de produção de energia solar fotovoltaico (PV), que permita reduzir a compra de energia à Rede Elétrica de Serviço Público (RESP), durante o dia enquanto se verifica exposição solar. Para isso dimensionar-se-á o sistema para uma *baseline* de consumo para um mês típico de verão e de inverno, tendo em consideração a área disponível de cobertura.

Capítulo 8. Apresentação geral dos resultados obtidos com a implementação das medidas de racionalização energética e respetivas conclusões.

Capítulo 2 – Metas, Prazos e Legislação Energética

2.1 Política energética europeia (diretiva 2012/27/UE)

Nos dias 8 e 9 de Março de 2007 ficou definido em Conselho Europeu que existia uma crescente necessidade de aumentar a eficiência energética na União Europeia. Em termos concretos pretendia-se economizar 20% do consumo de energia primária da União até 2020, em relação às projeções. Mais tarde, durante o Conselho Europeu, a 4 de Fevereiro de 2011 salientou-se o facto de que o objetivo anteriormente estabelecido estaria longe de ser alcançado. Concluiu-se então que seria imperativo atuar nesse sentido. As projeções realizadas em 2007 referiam um consumo de energia primária para 2020 de 1842 Mtep. Para atingir a meta estabelecida em 2020 ter-se-ia um consumo de 1474 Mtep, como foi referido em Parlamento Europeu no dia 25 de outubro de 2012 [7].

A necessidade de uma urgente redução das emissões de gases de efeito de estufa é um objetivo imposto pelo Protocolo de *Quioto*². Essa imposição contribui para atenuar as alterações climáticas, no sentido de salvaguardar a temperatura do planeta Terra. No mesmo sentido, o Conselho Europeu enfatiza a importância do cumprimento de um limite que fixe a temperatura global em apenas 2 °C acima da registada nos níveis pré-industriais [8].

A União Europeia tem vindo a encarar certos desafios que outrora não eram conhecidos, tais como, o aumento da dependência das importações de energia, a escassez de recursos energéticos e a necessidade de imposição de um limite nas alterações climáticas, bem como superação da crise económica. Desta forma, a eficiência energética deve ser vista como um instrumento imprescindível para superar estes desafios e ainda beneficiar do aumento da segurança do aprovisionamento energético da União, reduzindo o consumo de energia primária e a diminuição da importação de energia. Segundo [7] Conselho Europeu, a presente Diretiva 2012/27 pretende atualizar o quadro jurídico da União no âmbito da eficiência energética com o objetivo global de reduzir 20% do consumo de energia primária até 2020. Esta mesma Diretiva contribui ainda para que seja atingida uma produção de eletricidade com emissões nulas até 2050, objetivo esse estabelecido no Roteiro de Transição para uma Economia Hipocarbónica Competitiva³.

Na Diretiva 2012/27 é ainda salientado que nas conclusões do Conselho de 10 de Junho de 2011, relativas ao Plano de Eficiência Energética, ou seja, que os edifícios representam 40% do consumo de energia final dos Estados-Membro. É crucial então, que dentro da União, sejam estabelecidas estratégias a longo prazo para a sensibilização e incentivo ao investimento, requalificação e renovação de edifícios habitacionais e de comércio, visando a melhoria do desempenho energético. A estratégia de renovação visa alterações profundas a fim de reduzir o abastecimento de energia elétrica, bem como o consumo no edifício, mantendo um bom equilíbrio entre custo-eficiência. Por fim, cabe aos Estados-Membros introduzir regimes nacionais que consistam em obrigações de eficiência energética para serviços públicos, garantindo que as autoridades reguladoras possam assegurar os regimes impostos [7].

² Protocolo assinado no dia 11 de Dezembro de 1997, em Quioto, no Japão, e que pretende explicitamente limitar as emissões quantificadas de gases com efeito de estufa para atmosfera.

³ Resolução do Parlamento Europeu, de 15 de março de 2012, sobre um roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050 (2011/2095(INI)).

2.2 Roteiro da Comissão para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050

De acordo com as conclusões do Parlamento Europeu, 15 de Março de 2012, e com o Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica em 2050, foram divulgadas ambições de uma redução de 80 a 95% das emissões de gases potenciadores do efeito de estufa.

O Roteiro demonstra que a atual meta de 20% não se encontra num rumo economicamente viável, ou seja, no sentido de uma redução de emissões de 80% no horizonte 2050 em comparação com 1990. As conclusões do Parlamento Europeu estão direccionadas para metas específicas de redução das emissões internas⁴, em 40% até 2030, 60% em 2040 e os tão ambicionados 80% em 2050.

No roteiro é feito um forte apelo a aglomeração de esforços por parte dos Estados-Membros a fim de atingir a meta de 20% no domínio da eficiência energética, uma vez que ficou reconhecido que o cumprimento dessa meta permitiria à União Europeia reduzir as emissões internas de CO₂ em 25 ou mais pontos percentuais até 2020. A viabilidade económica desta redução seria positiva, de acordo com a meta a longo prazo no horizonte 2050, no sentido de uma redução de emissões de gases com efeito de estufa em 80-95% em comparação com os níveis registados em 1990.

A nível global, como já referido anteriormente, ficou definido no protocolo de *Quioto* que seria obrigatório reduzir as emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera e consequentemente controlar a subida de temperatura do Planeta Terra. Mesmo que a União Europeia concretize os objetivos pretendidos pelo Parlamento Europeu, seria ainda responsável por aproximadamente o dobro das emissões máximas *per capita* do orçamento de carbono global, que representa o limite para uma elevação máxima da temperatura na ordem dos 2°C, sendo que essa limitação não garante que impactos ambientais significativos sejam evitados.

2.3 Estratégia nacional

Durante a *Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013* foi salientada a importância de uma melhor gestão energética no país, para isso o governo em causa tem caminhado no sentido de implementar um modelo energético, desenvolvido com base na racionalidade económica e na sustentabilidade. Para tal, é necessário atuar de acordo com medidas de eficiência energética e estimular a utilização de energia proveniente de fontes renováveis, em simultâneo com uma redução dos sobrecustos, impostos pelo mercado energético [6].

Neste sentido, ficou patente que o governo pretende garantir o desenvolvimento de um modelo energético com racionalidade económica, que assegure custos de energia sustentáveis, atinja os objetivos impostos pela União Europeia, mas sem nunca comprometer a competitividade das empresas ou ainda a qualidade de vida dos cidadãos europeus. É importante ainda garantir uma melhoria substancial na eficiência energética do País, através da execução do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e do Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER). Tudo isto com a ajuda de programas de incentivo à eficiência energética (*Fundo de Eficiência Energética, Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica, Fundo de Apoio à Inovação, Fundos do Quadro de Referência Estratégica Nacional*), necessitando apenas de reforçar a coordenação dos mesmos. Neste documento ficou esclarecido que é necessária a conclusão da execução do Programa de Eficiência Energética na Administração Pública e ainda manter o esforço para uma diversificação das fontes primárias de energia, através

⁴ Entende-se emissões internas como as emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera realizada pelos Estados-Membros da União Europeia.

da reavaliação dos investimentos em renováveis e com a exibição de um novo modelo de remuneração, que visa criar um incentivo à utilização das tecnologias mais eficientes.

Posteriormente ao reconhecimento do PNAEE 2016, é possível verificar que este plano pretende intervir em seis áreas distintas e específicas que, de forma sucinta, podem ser descritas em Transportes, Residencial e Serviços, Indústria, Estado, Comportamentos e Agricultura. Nesta revisão ter-se-ão em conta apenas os setores residencial e serviços bem como o fator comportamental, uma vez que estes são os que mais se relacionam com este estudo.

No que diz respeito ao PNAER 2020, foi estabelecido, pela Diretiva de Energias Renováveis, ao abrigo do artigo 4.º, a obrigação de cada Estado-Membro garantir a aprovação e notificação à Comissão, de um plano nacional de ação para as energias renováveis, fixando os objetivos nacionais para as quotas de energia, provenientes exclusivamente de fontes de energia renováveis, utilizada da produção de eletricidade, aquecimento e arrefecimento em paralelo com os transportes no horizonte de 2020.

O PNAEE e o PNAER pressupõem a revisão das medidas implementadas, visando a eliminação de medidas não implementadas, por se tratarem de medidas com um carácter de difícil quantificação ou de impacto reduzido, substituindo-as por medidas novas, de menor custo e de maior facilidade de implementação. Deve ser também feita uma avaliação que valide os impactos das medidas sugeridas por cada Plano em particular. Por fim, deve ser feita a instituição de um sistema composto de acompanhamento e monitorização dos respetivos planos.

2.3.1 PNAEE 2016

O objetivo inicial dos planos de ação de eficiência energética nos vários Estados Membros era reduzir anualmente, até 2016, o equivalente a 1% do consumo médio de energia final em 2001 – 2005. De acordo com a diretiva [7], do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro, relativa à eficiência energética, a meta foi redefinida para um limite máximo ao consumo de energia primária equivalente a uma redução de 20% (24,0 Mtep) para 2020. Segundo o relatório emitido considera-se que essa meta foi atingida atualmente com um consumo previsto de 23,8 Mtep. O novo objetivo do Governo pretende reduzir o consumo de energia primária para um teto máximo e 22,5 Mtep, este limite exige um esforço adicional entre 1,2 e 1,7 Mtep na redução do consumo de energia primária. Este plano visa ainda interferir na área de Comportamentos integrando medidas que pretendem promover hábitos e atitudes de consumidores, incutindo ideias energeticamente eficientes.

2.3.1.1 Residencial e Serviços

Esta área apresenta bastante peso para o sucesso da implementação do PNAEE 2016, uma vez que representou, em 2011, cerca de 28% do consumo de energia final em Portugal, da qual 16,6% no setor Residencial e 11,4% no setor dos Serviços. A componente elétrica teve um peso bastante elevado no setor de Serviços, em 2011, correspondendo a 73% de consumo de eletricidade. Para que seja possível contrariar esta tendência, neste setor em particular, foram propostos três programas com incidência no aumento da eficiência energética dos edifícios, quer de Serviços quer Residenciais: *Renove Casa & Escritório*, *Sistema de Eficiência Energética em Edifícios* e *Integração de Fontes de Energia Renováveis Térmicas/Solar Térmico*.

Segundo [6] o objetivo do primeiro programa é incentivar a substituição de equipamentos nesta área com o fim de tornar mais eficiente o parque de eletrodomésticos, de equipamentos elétricos e iluminação. Pretende-se assim reduzir o consumo de energia elétrica através do estímulo à utilização de produtos mais eficientes do ponto de vista energético ou através de medidas restritas à aquisição e/ou comercialização de produtos ou equipamentos, de desempenho energético inferior aos limites ponderados e determinados por entidades reguladoras.

Especialmente no setor da iluminação, a medida aplicada visa adotar programas nacionais que levem à promoção de iluminação eficiente, através da renovação do parque, substituindo as lâmpadas de baixa eficiência energética e acelerando o processo de *phasing-out* das lâmpadas incandescentes. A aplicação de taxa sobre utilização de lâmpadas de baixa eficiência favorece a utilização de lâmpadas mais eficientes ou novas tecnologias tais como as *light-emitting diode* (LED) ou o halogéneo eficiente. Ainda no seguimento do objetivo desta revisão, de mencionar as medidas relacionadas com a envolvente dos edifícios. Pretende-se assim promover a renovação no setor residencial com a finalidade de reabilitar as superfícies envidraçadas, com a introdução de caixilharia com corte térmico, utilização de vidro duplo e, ainda de extrema importância e com mais peso no setor dos serviços, a possibilidade de utilizar vidros termicamente eficientes de baixa emissividade.

Tabela 1 – Impacte de programas no setor Residencial e Serviços [6].

Programa	Código de Medida	Resultados							
		Energia Poupada (tep)		Meta 2016 (tep)		Execução 2016 ⁽¹⁾	Meta 2020 (tep)		Execução 2020 ⁽²⁾
		Final	Primária	Final	Primária		Final	Primária	
Renove Casa & Escritório	RSp1m1	99931	156869	189363	297257	53%	235535	361886	43%
	RSp1m2	48530	76181	98236	154207	49%	98236	154207	49%
	RSp1m3	311	339	997	1088	31%	1500	1636	21%
	RSp1m4	435	475	1068	1165	41%	1716	1872	25%
	RSp1m5	15796	15796	110249	110249	14%	157354	157354	10%
Sistemas de Eficiência Energética nos Edifícios	RSp2m1	57473	71554	77473	96453	74%	94580	117751	61%
	RSp2m2	23697	29098	83272	102251	28%	152671	187465	16%
Solar Térmico	RSp3m1	16303	16303	52236	52236	31%	81238	81238	20%
	RSp3m2	4532	4532	21371	21371	21%	34663	34663	13%
Medidas Anteriores		0	0	0	0	0	0	0	0
Total PNAEE		267008	371147	634265	836277	42%	857493	1098072	34%

⁽¹⁾ Face à energia final.

⁽²⁾ Face à energia primária.

Com se verifica na Tabela 1, a execução do plano já se encontra a 42% do previsto até 2016, e a 34% no que diz respeito ao que se pretende atingir até 2020. Os dados são referentes a 2013, após a emissão da [6], e é esperado que os planos tenham atingido uma poupança mais significativa até a atualidade do que os dados apresentados na tabela. A medida *RSp1m1* tem o papel mais importante para a redução de energia primária e final, uma vez que é com ela que se espera poupar uma quantidade significativa de energia, na ordem dos 200 e 300 ktep, energia final e primária, respetivamente, até 2016. Em 2013, já se encontrava quase a metade do seu desenvolvimento. A implementação desta medida tem como objetivo promover a substituição de eletrodomésticos e de outros equipamentos elétricos, para uso essencialmente doméstico, reduzindo o consumo específico do parque de equipamentos domésticos. A Diretiva Rotulagem Energética, transposta pelo Decreto – Lei n.º 63/2011, de 9 de maio permite o incentivo da aquisição e utilização de eletrodomésticos e outros equipamentos elétricos mais eficientes. Possibilita ainda ao consumidor uma recolha clara de informação acerca da eficiência energética e do desempenho dos equipamentos à venda no mercado.

2.3.1.2 Comportamento

A área do comportamento é gerida em conformidade com um programa que pretende promover hábitos e alterar padrões comportamentais que atuem no sentido da alteração de atitude por parte dos consumidores de energia elétrica, ou seja, pretende-se que exista uma sensibilização no âmbito da eficiência energética. Este programa visa, ainda, a recomendação de produtos mais eficientes, através de estratégias de marketing institucional junto dos consumidores e através dos

meios de comunicação, dando a conhecer o produto mais eficiente e alertando para os impactos do consumo elevado de energia.

Como em qualquer outra área de gestão energética é necessário conhecer o impacto da aplicação das medidas, assim sendo criou-se a necessidade de monitorizar as alterações consequentes das medidas impostas. A monitorização pode ser feita através de indicadores *bottom-up*, mas de uma forma genérica serão utilizados indicadores *top-down*, que facultam a capacidade de identificar os efeitos comportamentais das medidas aplicadas nas diversas áreas. Até ao momento apenas foram quantificados os impactos avaliados em relatórios anteriores, desta forma será difícil quantificar os impactos futuros provocados pelas medidas em vigor, estas medidas podem ter impacto na redução do consumo de energia.

No campo de ação comportamental, são cinco as medidas aplicadas com a finalidade de induzir hábitos e atitudes energeticamente mais eficientes nos consumidores, através duma correta comunicação da eficiência energética. A mudança comportamental dos consumidores deverá incidir não apenas na habitação, mas também na sua forma de transporte, no trabalho, e até na utilização de serviços. As medidas aplicadas assentam, sobretudo, na correta utilização dos equipamentos elétricos, na sensibilização para uma redução de consumo, na substituição dos equipamentos atuais por mais eficientes, e ainda na utilização de sistemas de monitorização e apoio à gestão de energia. O programa principal é denominado por Comunicar Eficiência Energética, e está dividido em cinco medidas: *Energia nas Escolas*, *Energia nos Transportes*, *Energia em Casa*, *Energia no trabalho* e *Contadores Inteligentes*.

2.3.1.3 Fontes de Financiamento

O PNAEE 2016 pretende alterar as restrições orçamentais e de financiamento com a adequação dos mecanismos de incentivo financeiro. Portanto o presente programa será executado com base em medidas regulatórias, onde poderá vir a ser obrigatória a realização de auditorias energéticas, bem como requisitos mínimos de classe de desempenho energético, entre outras obrigаторiedades/imposições. Na implementação do PNAEE 2016, foram criados apoios financeiros, organizados por forma a incentivar o investimento, sustentados por fundos que disponibilizam verbas para programas de eficiência energética, tais como: *Fundo de Eficiência Energética* (FEE), *Fundo de Apoio à Inovação* (FAI), *Plano de Promoção da Eficiência no Consumo de Energia Elétrica* (PPEC), *Fundo Português de Carbono* (FPC), e ainda o *Quadro de Referência Estratégico Nacional* (QREN). É feito ainda uma referência à importância do papel da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) na devida utilização dos variados instrumentos de financiamento evidenciados, sendo que é necessário uma eficaz coordenação com as respetivas entidades gestoras.

2.3.1.4 Impactes

A execução dos programas e medidas do PNAEE 2016 traduz-se num impacto principal associado à economia do consumo de energia final e primária, e em impactos secundários, como diminuição de importação de combustíveis fósseis, ou até mesmo a diminuição das emissões de gases de efeito de estufa. É ainda evidente que existem impactos indiretos, que não sendo complacentes com o objetivo do Plano, podem ser tidos em conta com consequências benéficas, tais como, a criação de emprego ou até a melhoria da qualidade do ar nas cidades. Os resultados obtidos com a implementação do PNAEE 2016 são considerados apenas no espaço temporal de 2013 até 2020, uma vez que os resultados obtidos entre 2008 e 2012 correspondem a medidas realizadas anteriormente.

2.3.1.5 Monitorização

A principal função da monitorização é controlar o cumprimento das metas referentes às medidas de poupanças com o aumento da eficiência energética. É ainda mencionado que a monitorização pretende avaliar e reavaliar, se necessário, continuamente e comparativamente a relação de custo-benefício entre as diferentes medidas.

2.3.2 PNAER 2020

Recentemente tem havido um aumento na aposta em meios de produção de energia elétrica baseados em FER. Este plano é definido em função da redução da procura, consequente dos efeitos previstos com a implementação do PNAEE 2016, e visa a incorporação de energia renovável nos vários setores. Face aos objetivos traçados para 2020 Portugal apresenta hoje valores próximos dessas necessidades: no setor do aquecimento e arrefecimento temos 34,5% de FER incorporadas (objetivo 30,6%), eletricidade 41,1% (objetivo 55,3%), 5,5% nos transportes (meta 10,0%) e no consumo final bruto de energia 24,6% (meta de 31,0%).

2.3.2.1 Eletricidade

O PNAER 2020 atribui uma grande importância à evolução verificada, conseguida com a contribuição de energia elétrica por parte das Fontes de Energia Renovável (FER), ao longo da última década. As FER, em 2011, já representavam um papel relevante no *mix* energético nacional, com 10.623 MW de potência FER instalada, 119% superior ao valor referente a 2000 e ainda 10% acima da potência instalada em 2010. No ano seguinte foi possível produzir 48% do total da geração bruta de eletricidade nacional, devido à potência FER instalada, sendo que este valor sofreu um aumento significativo em comparação com o valor de 31% da produção bruta de eletricidade registada no início da década.

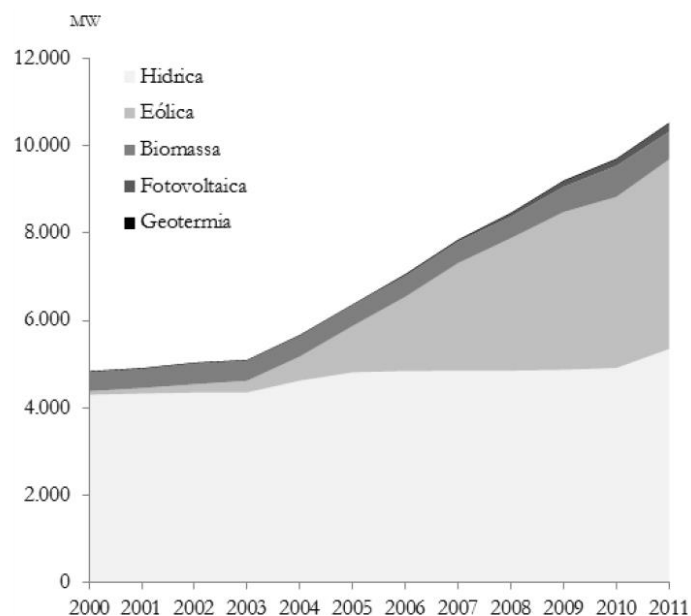


Figura 3 - Evolução de Potência FER instalada em Portugal [6].

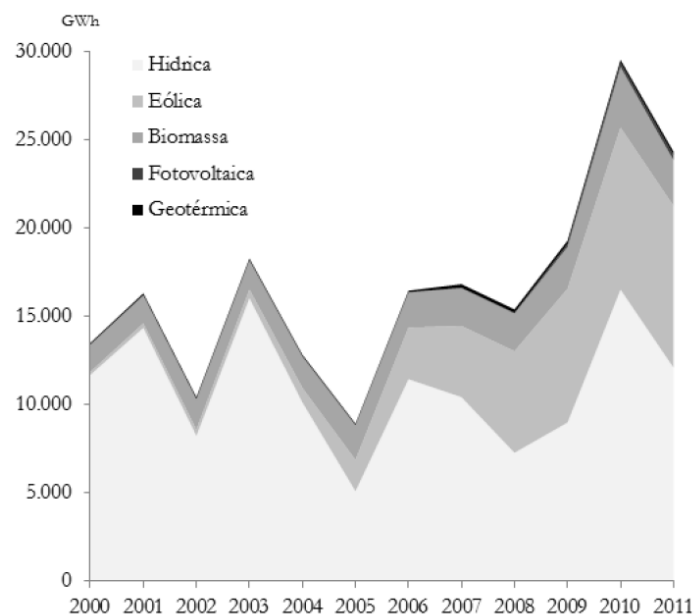


Figura 4 – Evolução da Produção de Energia Elétrica FER em Portugal [6].

De acordo com os dados divulgados pelo PNAER 2020, no ano de 2012, os sistemas baseados em FER tiveram uma contribuição total aproximada de 10.720 MW, que corresponde 26.633 GWh. A hidroelétrica e a eólica são as tecnologias com mais peso contributivo, apresentavam, nesse mesmo ano, um total de 9.746 MW, correspondente a 21.902 GWh. Com o decorrer do Programa, até 2020, é esperado que Portugal obtenha um registo total de 15.824 MW de potência instalada, proveniente de tecnologias baseadas em FER, que corresponderá a uma energia produzida na ordem de 32.300 GWh. É estimado que em 2020 a contribuição de potência instalada fotovoltaica triplique, ou seja espera-se um aumento de 210 MW para 670 MW entre 2012 e 2020, que corresponde a um aumento de 326 GWh para 1.039 GWh no ano de 2020. No presente documento é referido que estes valores são apenas estimativas do contributo total de cada tecnologia baseada em FER com o objetivo de alcançar as metas obrigatórias de 2020. É importante também frisar que não foram tidos em conta os projetos a serem lançados para a produção de energia com bases em fonte renováveis, que contam com a disponibilidade de fundos comunitários.

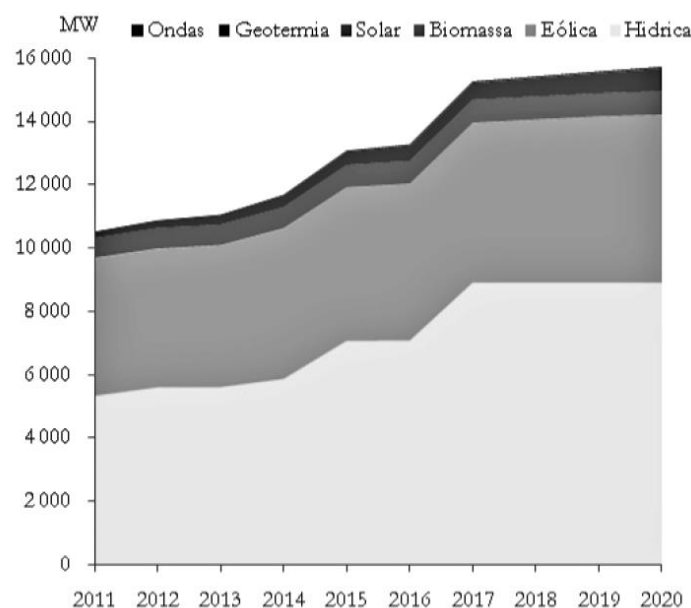


Figura 5 – Estimativa da evolução da capacidade instalada FER [6].

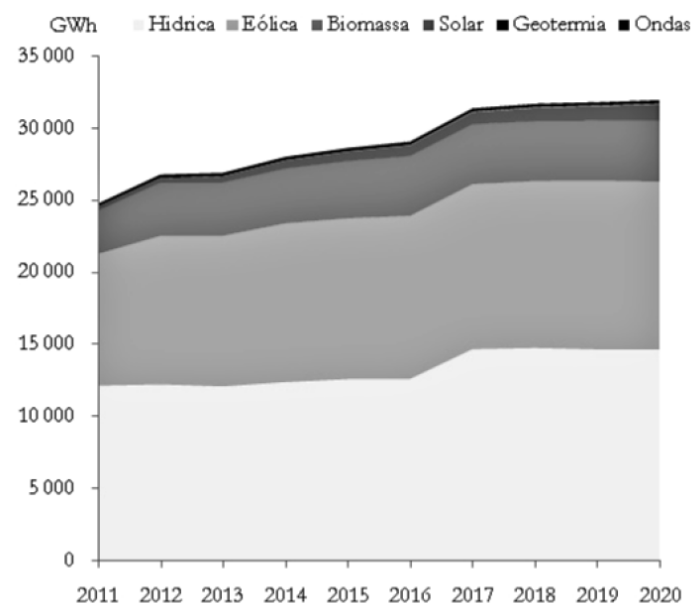


Figura 6 – Estimativa da evolução da produção de eletricidade FER [6].

Como pode ser observado nos gráficos e de acordo com o que já foi afirmado anteriormente, a energia eólica tem tido um elevado crescimento, a uma taxa superior no período entre 2005 e 2011, tendo a potência instalada aumentado dos 1.063 MW para 4.378 MW. A energia eólica, juntamente com a energia hídrica, representa a maior fatia do total da produção de energia proveniente de FER, prevendo-se, no entanto, que esta progressão sinta um abrandamento até 2020, face à diminuição da procura de energia.

Segundo o PNAER a aposta na energia solar tem um papel relevante no desenvolvimento da produção descentralizada de eletricidade, devido ao ciclo de produção se enquadrar com os períodos de maior consumo de energia em Portugal, bem como pela disponibilidade de recurso e de capacidade de investigação e desenvolvimento tecnológico (I&DT). Calcula-se que, até 2020,

sejam instalados 250 MW de miniprodução com o objetivo de tornar mais eficientes escolas, edifícios públicos e grandes armazéns de distribuição. Pretende-se ainda, até 2020, melhorar a operacionalidade e a oferta de capacidade, através da fusão entre a miniprodução e a microprodução com a instalação de mais 80 MW até a esse mesmo ano.

2.4 Norma EN ISO 50001

A Norma Internacional [9] ISO 50001:2011 foi elaborada pela ISO/TC 242, “*Energy Management*”, e adotada em 2012, em Portugal, como norma Nacional, substituindo assim a EN 16001:2009. A presente Norma será aqui tratada com o intuito de compreender de que forma pode ser implementada e reconhecer a influência da mesma para uma boa gestão energética bem como enumerar as vantagens da adesão à certificação energética na Norma Europeia de Eficiência Energética.

Esta Norma tem como principal objetivo a especificação dos requisitos para sistemas de gestão de energia (SGE), permitindo a uma organização tomar medidas para um melhor desempenho energético e alcançar esses objetivos em conformidade com os requisitos da Norma. A Norma baseia-se na metodologia “*Plan-Do-Check-Act*” (PDCA) e incorpora a gestão de energia nas práticas das organizações.

- *Plan* – realizar a avaliação energética e estabelecer objetivos, metas e planos de ação necessários para produzir resultados;
- *Do* – implementar os planos de ação de gestão de energia;
- *Check* – monitorizar e medir os processos e as características chave da operação;
- *Act* – executar ações que visem melhorar continuamente o desempenho do SGE.

A Norma ISO 50001:2011 pode ser utilizada para certificação, registo e auto declaração de SGE, de uma organização. Este modelo da Norma permite que duas organizações distintas ao realizarem operações semelhantes, mas com desempenhos energéticos diferentes, possam cumprir os requisitos legais na mesma. É ainda aplicável a outros sistemas de gestão, relacionados com qualidade, ambiente, segurança e saúde ocupacional.

2.4.1 Requisitos gerais

Esta Norma especifica os requisitos necessários às organizações a fim de permitir que haja uma melhoria contínua do desempenho energético, incluindo a eficiência energética, uso e consumo de energia. A Norma pode ser aplicada a qualquer organização que pretenda garantir a conformidade com a sua política energética, e que deseje demonstrá-la a terceiros, na medida em que poderá ser demonstrada por meio de autoavaliação e auto declaração de conformidade, ou ainda pela certificação do sistema de gestão de energia por uma organização externa. Cabe à organização do SGE determinar o ritmo, extensão e duração de tempo dos processos de melhoria contínua, considerando sempre os aspetos económicos. No desenvolvimento de um SGE a organização é responsável por:

- Estabelecer, documentar, implementar, manter e melhorar o SGE de acordo com as exigências da Norma;
- Definir e documentar o âmbito e fronteiras;
- Determinar como serão cumpridos os requisitos da Norma.

Na Figura 7 pode-se identificar as ações necessárias para desenvolver uma gestão energética eficiente segundo a Norma ISO 50001:2011, estas ações podem ser descritas através de um modelo cíclico.

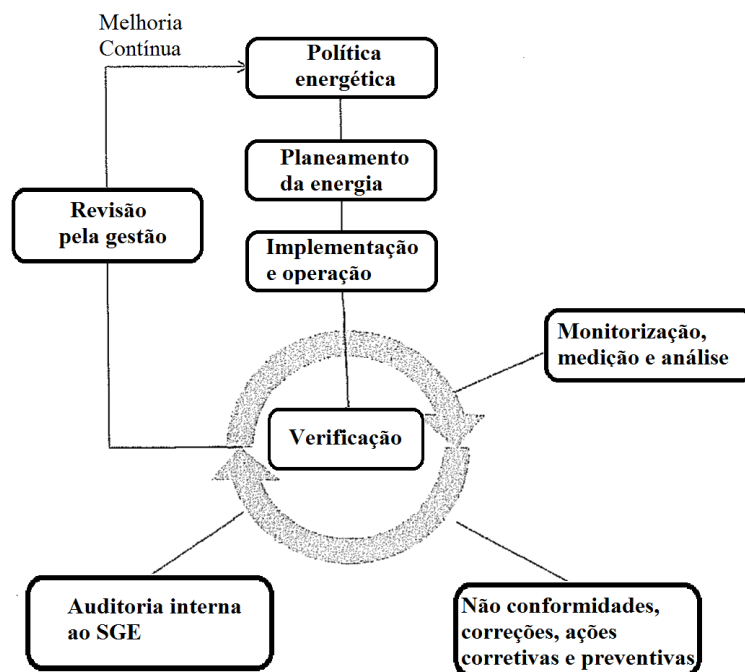


Figura 7 – Modelo de sistema de gestão de energia para esta Norma (adaptado) [9].

Na referente Norma é destacada a importância do comportamento organizacional num SGE eficiente, como por exemplo a responsabilidade da gestão de topo em destacar a importância da gestão de energia. Posto isto, a gestão de topo, ou um outro seu representante, deve criar atividades de envolvimento junto dos trabalhadores com o SGE através da delegação de competências, motivação, formação, participação e recompensa.

Segundo [9] o conceito de desempenho energético inclui o uso de energia, consumo de energia e eficiência energética. Cabe à organização promover a melhoria do desempenho energético, criando uma série de atividades que beneficiem esse efeito, tais como: reduzir o consumo nas horas de maior consumo (Capítulo 5, Capítulo 6 e Capítulo 7), reaproveitar a energia desperdiçada, ou melhorar a operação dos seus sistemas.

Uma adequada política energética pode ser fundamental para a implementação e melhoria do SGE e do desempenho energético da organização dentro das suas possibilidades de investimento. A política energética não requer um documento muito complexo, pode ser um breve manifesto que os membros possam compreender prontamente, aplicando essa informação nas suas atividades laborais. Mais uma vez, o comportamento organizacional pode ser influenciado através da divulgação da política energética. Posto isto é fundamental que exista um planeamento energético adequado, seguido de uma política energética simples, que permita facilmente identificar sistemas ou setores com consumo excessivo de energia para uma simples aplicação do mesmo.

2.4.2 Planeamento energético

Um planeamento energético deve ser conduzido e documentado pela organização responsável pelo processo. O planeamento energético deve ser coerente com a política energética criando melhorias contínuas no desempenho energético. Para a elaboração de um planeamento energético é necessário existir uma fase de levantamento, em que é feita uma recolha de dados referentes ao desempenho energético pré-existente, tais como: o consumo de energia passado e

presente, as fontes de energia ou a identificação de variáveis relevantes que afetam significativamente o uso de energia.

Durante o planeamento energético deverá ser realizada uma recolha, análise e comparação dos dados de desempenho energético, denominada por *Benchmarking*. Este processo visa avaliar e comparar, resultados do uso de medidas e a evolução do desempenho energético na entidade. Essa recolha pode ser interna, capaz de destacar e identificar as boas práticas da organização, ou externa para produzir um “melhor desempenho” num determinado sector ou área, desde indústria a produtos ou serviços. Os dados adquiridos pelo *Benchmarking*, desde que exatos e disponíveis podem ter um papel importante para a clara avaliação energética e consequente conhecimento que permita estabelecer metas e objetivos energéticos, dentro do âmbito e fronteiras da organização.

A Norma exige um diagrama (Figura 8) que pode servir de modelo para um planeamento energético, no entanto é de realçar que cada organização poderá obter detalhes específicos, e assim sendo não deverá seguir exaustivamente este ou qualquer outro planeamento energético já existente, sem uma prévia adaptação ao contexto.

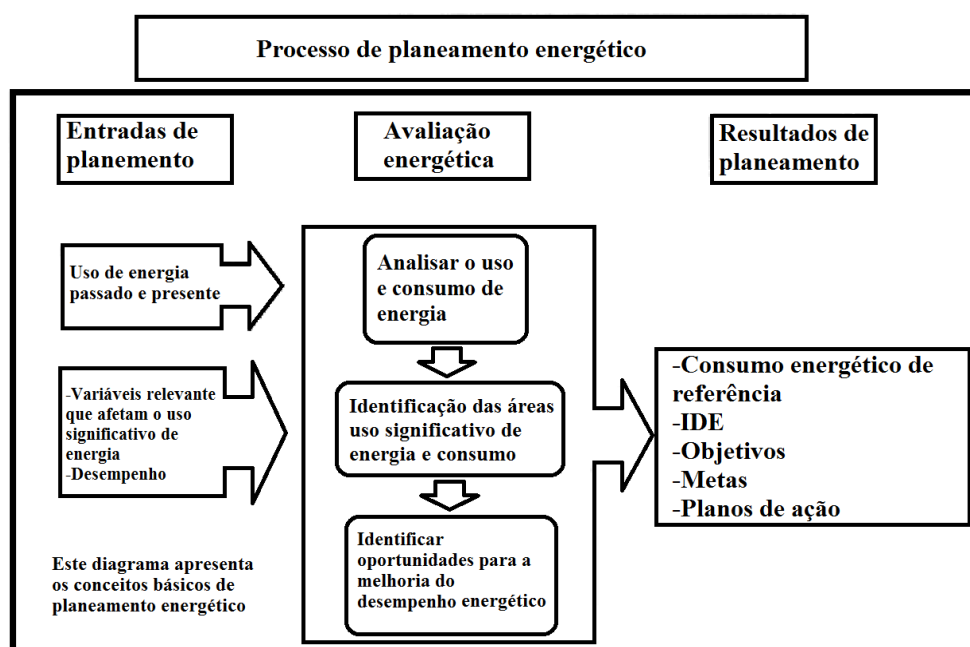


Figura 8 – Diagrama representativo dum processo de planeamento energético (adaptado) [9].

2.4.2.1 Avaliação energética

A identificação e avaliação do uso de energia são processos que podem levar a organização a determinar áreas de consumo elevado de energia e reconhecer oportunidades de melhoria do desempenho energético. A utilização de fontes de energia alternativas às fontes convencionais, como por exemplo a incorporação de FER pode ser incluída no processo de avaliação energética, caso não sejam utilizadas pela organização. Uma avaliação mais detalhada do desempenho energético de uma organização, de um processo ou de ambos pode ser obtida através duma auditoria energética⁵, baseada na medição e observação do desempenho real.

⁵ Auditoria energética trata-se do procedimento que visa conhecer as características de consumo energético de um edifício ou instalação, de uma atividade ou serviço. Identifica áreas onde é possível economizar energia e quantifica a sua rentabilidade.

Tipicamente uma auditoria é planeada e conduzida a fim de identificar e priorizar oportunidades de melhoria do desempenho energético.

2.4.2.2 Indicadores de desempenho energético

A organização que pretende fazer uma avaliação energética pode utilizar um simples parâmetro, um simples rácio ou um modelo complexo como indicador de desempenho energético (IDE). O IDE escolhido pode informar o desempenho energético das suas operações e pode ainda ser atualizado quando existem mudanças das atividades do negócio ou de referências que afetem a importância do IDE.

2.4.3 Verificação e revisão

A auditoria interna ao sistema de gestão de energia pode ser posta em prática por pessoas pertencentes à organização ou por pessoas externas à organização, mas selecionadas previamente pela mesma. Em qualquer dos casos a auditoria deve ser realizada de forma imparcial e objetiva. Em organizações de menor dimensão, a independência do auditor pode ser ausente de responsabilidade por parte da atividade auditada. A revisão efetuada pela gestão deve abranger a totalidade do sistema de gestão de energia, apesar de o processo de revisão dever incidir sobre um dado período de tempo, contudo, não é imperativo que todos os elementos do sistema sejam revistos aquando da auditoria.

2.4.4 Objetivo

A Norma ISO 50001:2011 tem como objetivo principal fornecer estratégias benéficas para que as organizações, no setor público ou privado, aumentem a eficiência energética, gerindo e melhorando o consumo de energia. A implementação da norma referida pretende reduzir emissões de gases de efeito de estufa, reduzir o custo de energia, entre outros impactos ambientais que tenta prevenir, relacionados com o meio da gestão de energia, enquanto favorece a comunicação e transparência na estrutura da organização de gestão e promove melhores práticas de gestão de energia. A norma permite ainda que seja possível a integração de outros sistemas organizacionais, como os de meio-ambiente ou saúde e segurança. A aplicação da norma pretende ainda promover a inovação aumentando o acesso da organização a novas oportunidades de negócio, ajudando a que sejam satisfeitas as exigências contratuais estabelecidas pelos clientes.

2.5 Autoconsumo Decreto-Lei 153/2014

O presente Decreto-Lei veio revogar a regulamentação anterior da atividade de produção de energia elétrica em baixa tensão e é destinado predominantemente a consumo próprio. Procurou-se então definir novas soluções de produção de energia descentralizada, permitindo ainda a possibilidade de ligação à rede pública de distribuição de energia elétrica, com vista a autoconsumo, fornecimento a terceiros e transmissão de sobejos à rede. O investimento neste tipo de tecnologia, ainda imatura, era apenas recompensado com o custo evitado na aquisição de energia elétrica à rede, percebendo essa lacuna procedeu-se à atribuição de remuneração bonificada da energia produzida.

Em [10] é juridicamente permitido ao pequeno produtor⁶ vender a totalidade da energia elétrica à rede elétrica de serviço público (RESP), em que a tarifa é atribuída segundo um modelo de licitação, saindo de vigor o regime remuneratório geral indicado nos anteriores regimes

⁶ Produtor de energia elétrica em regime de pequena produção.

jurídicos. A consideração essencial a reter é que a energia elétrica produzida em autoconsumo destina-se predominantemente a consumo na instalação associada à unidade de produção.

2.5.1 Disposições gerais

Uma Unidade de Produção para Autoconsumo (UPAC) é a designação dada a uma instalação destinada à produção de eletricidade e consumo no local da unidade produtora, com ou sem ligação à RESP, sem que essa injeção prejudique o correto funcionamento da rede, recorrendo às tecnologias de produção renovável ou não.

Aquando uma Unidade de Produção (UP) fornece energia em Baixa Tensão (BT) com potência contratada superior a 41,4 kVA é dada uma classificação tarifária denominada de Baixa Tensão Especial (BTE). A Potência de ligação trata-se da potência máxima ou, no caso de injeção de eletricidade na RESP, a potência nominal (P_{nom}) à saída do inversor, em kW e kVA. A potência de ligação de uma UPAC requer que seja igual ou inferior à potência total contratada para fornecimento de energia.

Uma UPAC com potência instalada entre 200 W e 1,5 kW, a funcionar em modo *stand alone*⁷, necessita apenas de uma simples comunicação antes do início da exploração. Qualquer proprietário de uma UPAC, com potência instalada superior a 200 W, que pretenda fornecer energia elétrica não consumida à rede, está sujeito a registo prévio e à aquisição de certificado de exploração. O registo deve ser feito eletronicamente, através do Sistema Eletrónico de Registo da UPAC e da UPP (SERUP), para unidades de produção com potência instalada superior a 1,5 kW, em que o processo se inicia com a enunciação do pedido no SERUP e encerra-se com a sua aceitação. A instalação e entrada em exploração de uma UPAC, com potência superior a 1 MW requerem licença de produção e licença de exploração. A Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) é a entidade responsável pela decisão, coordenação e acompanhamento da atividade de produção de eletricidade.

O produtor pode consumir, no local da instalação elétrica, onde se encontra a UPAC, a energia nela produzida e ainda injetar os eventuais sobejos de energia produzida na RESP. No entanto cabe ao produtor suportar os custos associados aos contadores medidores do total da energia produzida pela UPAC, bem como a injetada na rede, quando a UPAC tem potência instalada superior a 1,5 kW.

2.5.2 Contagem e disponibilização de dados nas unidades de produção para autoconsumo

Numa UPAC com potência instalada superior a 1,5 kW e se esta estiver associada à RESP, existe a obrigatoriedade de contar a energia elétrica total produzida. Esta contagem é realizada por telecontagem, devendo o equipamento de contagem estar habilitado para o efeito. O contador deve também ser capaz de fazer a contagem nos dois sentidos, quer quando existe produção e consequente injeção na rede, ou quando se verifica o oposto, a necessidade de adquirir eletricidade da RESP.

2.5.3 Contrato de venda de eletricidade ao comercializador de último recurso (CUR)

Quando a energia proveniente de uma UPAC é de origem renovável e a potência instalada na unidade de produção é inferior a 1 MW, uma vez ligada à rede, o dono da unidade pode

⁷ Funcionamento autónomo sem ligação à RESP.

determinar um contrato, com o CUR, a fim de vender a eletricidade produzida e não consumida. O contrato deve ser efetuado segundo alguns termos e condições, entre os quais, o contrato poderá ter um prazo máximo de 10 anos, sendo possível renovar, após o encerro do mesmo, por períodos de 5 anos, caso não existam objeções à renovação, por razões relacionadas com a sustentabilidade do Sistema Elétrico Nacional (SEN) ou com as políticas energéticas em vigor aquando a renovação. O produtor está sujeito ainda ao pagamento da compensação mensal fixa, determinada no subcapítulo 2.5.4, no entanto está imposto que o produtor deve ser remunerado pela energia fornecida e adquirida pelo CUR.

2.5.4 Custos e remunerações

- A remuneração da energia proveniente das unidades de produção para autoconsumo $R_{UPAC,m}$ é feita a partir da energia elétrica gerada e não consumida, e posteriormente, fornecida à RESP pelo produtor, sendo valorizada segundo a seguinte equação:

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (1)$$

Em que,

$R_{UPAC,m}$ é a remuneração da energia elétrica fornecida à RESP no mês m , em €;

$E_{fornecida,m}$ é a energia fornecida, em kWh, no mês m ;

$OMIE_m$ é o valor resultante, da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês m , em expresso em €/kWh;

m é o mês a que se refere a contagem da eletricidade fornecida à RESP.

A faturação da eletricidade é normalmente efetuada trimestralmente, exceptuando a ativação duma UPAC, com capacidade superior a 1,5 kW e caso se pretenda ligar à rede elétrica, o que requer uma compensação C_{UPAC} , em que o valor da mesma depende da potência instalada e pode ser calculada a partir da Equação (2). Trata-se dum valor fixo mensal que decorrerá durante os primeiros 10 anos, após o início da exploração da unidade de produção. Este valor pago pelo produtor permite às entidades reguladoras compensar uma parcela dos custos associados às medidas de política energética, de sustentabilidade ou de interesse económico geral na tarifa de uso global do sistema (CIEG).

$$C_{UPAC,m} = P_{UPAC} \times V_{CIEG,t} \times K_t \quad (2)$$

Em que,

$C_{UPAC,m}$ é a compensação paga no mês m por cada kW de potência instalada na unidade de produção;

P_{UPAC} é o valor da potência instalada da UPAC, que deverá constar no registo de exploração em W_p;

$V_{CIEG,t}$ é o valor que permite recuperar os custos de política energética, de sustentabilidade e de interesse económico geral (CIEG) da respectiva unidade de produção, medido em €/kW, apurado no ano t , calculado a partir da Equação (3);

K_t é o coeficiente de ponderação, entre 0% e 50%, a aplicar ao $V_{CIEG,t}$, medido a partir da potência total registada das UPAC no Sistema Elétrico Nacional (SEN), no ano t ;

t é o ano de emissão do certificado de exploração.

O valor de K_t assume, essencialmente, três valores: 50%, caso o somatório da potência instalada as UPAC (em regime de autoconsumo), ultrapasse em 3% o total da potência instalada de unidade electroprodutoras do SEN. Quando é apurado um acumulado de potência instalada de UPAC, em regime de autoconsumo, entre 1% e 3% do total da potência instalada de centro electroprodutores do SEN. Por outro lado o coeficiente de ponderação, K_t , assume o valor 0% quando a soma de potências instaladas de UPAC é inferior a 1%.

$$V_{CIEG,t} = \sum_{n=0}^2 CIEG_{i(t-n)}^p \times \frac{1}{3} + \sum_{n=0}^2 CIEG_{i,h(t-n)}^e \times \frac{1}{3} \times \frac{1,5}{12} \quad (3)$$

Em que,

$CIEG_i^p$ é o somatório do valor das parcelas i do CIEG para o ano $t-n$ [10]; ver detalhes em Anexo O;

$CIEG_{i,h}^e$ é somatório, da média aritmética simples do valor para os diferentes períodos horários h de cada uma das parcelas i dos CIEG para o ano $t-n$ [10];

i designa cada uma das alíneas do n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro;

h corresponde ao período horário de entrega de energia elétrica aos clientes finais;

t corresponde ao ano de emissão do certificado de exploração da unidade de produção.

Posteriormente à publicação em Diário da República do presente Decreto-Lei, o Governo de Portugal publicou em Setembro de 2014, uma apresentação acerca do *Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída*. Esta fornece características detalhadas do regime proposto, mas no caso em estudo, foi selecionada informação referente à compensação a pagar ao sistema que permita recuperar uma parcela dos CIEG na tarifa de uso global de energia. Trata-se de um valor mensal fixado no início da entrada em exploração da UPAC, por um período de 10 anos. A percentagem do valor dos CIEG, ($V_{CIEG,t}$), a pagar é representada pelo coeficiente de ponderação K_t , que é dependente da relação entre a potência acumulada de UPAC e a potencia total instalada no SEN.

Tabela 2 – Exemplo $C_{UPAC,m}$ paga para UP instalada em 2014 [11].

Potência UPAC (kW)	$C_{UPAC,m}$ (€)
0,2	Isento
0,7	Isento
1	Isento
1,5	3,6
100	170
250	426
1000	1405

No mesmo documento foi exposto um exemplo ilustrativo de compensação a pagar pelas unidades instaladas em 2014. Permite assim ao leitor ter uma noção do valor mensal que é cobrado pela utilização de uma UPAC. A fim de reconhecimento dos valores médios a pagar, a Tabela 2 mostra o valor mensal a pagar consoante a potência UPAC instalada, considerando que a capacidade total de unidades de produção tenha atingido o limite de 540 MW (3% do SEN).

Capítulo 3 – Medidas de Eficiência Energética

3.1 Tecnologia LED

Em espaços fechados, a necessidade de iluminação é praticamente constante, é pois crucial racionalizar o consumo de energia para iluminação. Desde 1874, quando Henry Woodward e Matthew Evans patentearam a primeira lâmpada incandescente, que os sistemas de iluminação tendem a evoluir. Desde as primeiras lâmpadas incandescentes, surgiram fundamentalmente outras três tecnologias: fluorescente, vapor e LED.

No que diz respeito à tecnologia LED, apesar de ainda não ser uma tecnologia de utilização alargada, as suas inúmeras vantagens têm vindo a ser dadas a conhecer à sociedade. Quando utilizada e fabricada adequadamente, esta tecnologia oferece uma maior eficiência energética, resultante da baixa potência de operação (P_{op}), obtida por tensões de funcionamento mais baixas do que as lâmpadas mais comuns⁸. As lâmpadas de tecnologia LED têm um rácio Lúmen⁹/Watt (lm/W) superior às restantes tecnologias, o que é designado por eficácia luminosa¹⁰. Este rácio é usado para representar a eficiência energética dos LEDs e expressa a razão entre a intensidade luminosa emitida e o consumo de potência do sistema de iluminação. Teoricamente, dentro das várias tecnologias LED, existem lâmpadas LED de cor fria que tendem a ter uma eficácia mais elevada.

Comparando duas gamas de cor, o LED branco frio, de aproximadamente 6500 K de temperatura da cor, pode atingir, aproximadamente, 20% mais eficácia do que LEDs branco quente, com temperatura de cor, aproximadamente 3000 K [12].

3.1.1 Principais características

A eficácia dos sistemas de iluminação LED tem vindo a crescer desde a sua introdução no mercado da iluminação. Espera-se que esta tendência continue devido à introdução de novas matérias conjugadas com melhores métodos de produção e novas configurações. Atualmente a variedade de produtos LED é superior aos produtos de outras tecnologias, portanto a devida escolha desses mesmos produtos deve depender da sua temperatura de cor, da sua eficácia e ainda da cor LED de conforto.

Atualmente, existem vários métodos de produção de luz branca LED, mas na sua grande maioria a luz branca atingida pelo LED é fruto da conversão de fósforo, mas existem outros sistemas, em que se combinam três cores, vermelho, verde e azul (RGB). O primeiro sistema utiliza, tipicamente, *phosphor down-conversion*¹¹, para a obtenção da cor desejada, baseando-se num díodo de emissão de radiação na gama do azul ou ultravioleta combinada com a emissão na gama do amarelo por parte do fósforo. Segundo [12] quanto mais corrente for fornecida ao LED maior será o fluxo luminoso (Lúmen) mas a eficiência total do sistema vai diminuir proporcionalmente. Este fenómeno é conhecido por *efficiency drop*¹², e a sua causa tem vindo a

⁸ Comparativamente às lâmpadas incandescentes e fluorescentes, que são as tecnologias mais comuns.

⁹ Fluxo luminoso.

¹⁰ Eficácia de iluminação indica a eficiência com que a energia elétrica consumida é transformada em luz.

¹¹ *Phosphor down-conversion* é a definição dada ao processo em que o fosforo absorve energia com o comprimento de onda curto e posteriormente emite essa mesma energia, ou parte dela, com um comprimento de onda mais elevado.

¹² *Efficiency drop* é a redução da eficiência do LED com o aumento da corrente elétrica.

ser estudada esperando-se que, com a continuidade de investigação, se venha a otimizar este fenómeno num período estimado de dez anos.

3.1.2 Temperatura da cor

A temperatura da cor é um aspeto importante na aparência da cor, que caracteriza o quão “fria” (azulada) é a luz emitida, ou quão “quente” (amarelada). A temperatura da cor é uma medida que relaciona a aparência da fonte luminosa com a evolução da cor teórica dum corpo negro em aquecimento a altas temperaturas. Há medida que a temperatura de um corpo negro aumenta a emissão da radiação altera-se dos comprimentos de onda mais baixos para comprimentos de onda mais elevados, tornando-se vermelho, laranja, amarelo, branco e, por fim, azul. O valor da temperatura da cor, provinda da fonte luminosa, é dado em Kelvin (K), e caracteriza a cor da luz emitida e não a cor dos objetos iluminados [13].

Segundo [14] os sistemas LED para iluminação podem apresentar variadíssimas gamas de temperatura da cor, que geralmente varia entre os 3000 K e os 7000 K, como pode se observar na Figura 9. As lâmpadas com cor mais “quente” (tonalidade perto do amarelo, laranja ou vermelho) caracterizam por uma temperatura de cor mínima de 2700 K, e as tecnologias LED que usam uma temperatura de cor igual ou superior a 4100 K são consideradas lâmpadas de cor fria [12].

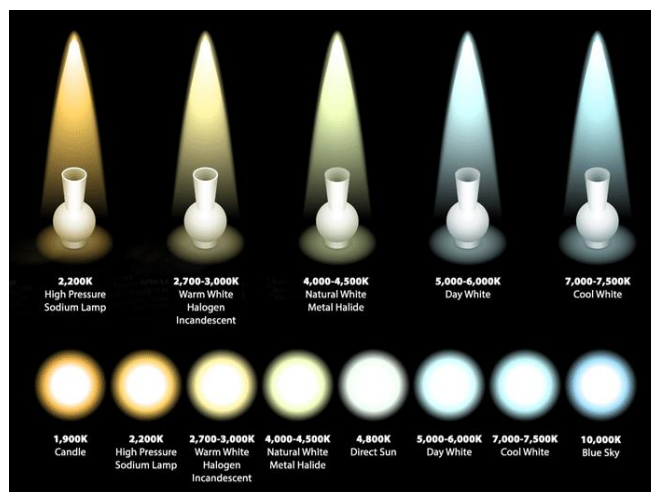


Figura 9 – Escala da temperatura da cor [15].

3.1.2.1 Como escolher a temperatura de cor ideal

No momento de decidir a temperatura da cor a instalar, a divisão do edifício e a atividade a desempenhar nesse mesmo espaço devem ser levadas em conta para que se obtenha o maior conforto possível à visão do ser humano. Por vezes diferentes espaços podem usar a mesma temperatura de cor, em outras situações a decisão pode ser condicionada pelo efeito que se pretende dar ao ambiente do espaço. A cor utilizada na iluminação pode influenciar drasticamente o desempenho das pessoas em determinada tarefa dentro dum espaço com ausência de luz solar natural. Por exemplo, divisões onde a principal tarefa seja a leitura podem beneficiar com a utilização de brancos mais frios. Numa perspetiva de relaxamento e bem-estar, o intervalo de temperatura de cor utilizado tipicamente é entre os 1500 e os 2000 K. No caso de restaurantes, hotéis ou casas de habitação aconselha-se temperaturas de cor entre 2500 e 3000 K, e 3500 K nos corredores entre as divisões desses mesmos edifícios. Por outro lado, a grande maioria das instalações comerciais e industriais tendem a adquirir a iluminação LED com cor entre 4000 e

5000 K, uma vez que nesta gama de temperaturas o comprimento de onda emitido pela fonte aproxima-se da luz natural proveniente do sol, e é neste ambiente que se pensa obter um espaço mais apelativo à produtividade e ao foco no trabalho. Alguns estudos comprovam que a temperatura de cor ideal para o conforto dos leitores é de aproximadamente 5500 K. Não existe, no entanto, um padrão a seguir pois a escolha apropriada deve também ter em consideração as preferências pessoais [14].

3.1.3 Tempo de vida útil e confiabilidade

Todas as fontes luminosas elétricas, com o decorrer do tempo e número de utilizações, sofrem de uma redução substancial do seu fluxo luminoso, este fenómeno é definido como *lumen depreciation*¹³. Sendo o LED uma fonte luminosa, como qualquer outro sistema ou lâmpada, sofre um decréscimo de fluxo radiativo, essencialmente derivado pelo calor gerado na zona de junção do LED. Os sistemas LED não emitem calor na gama do infravermelho (IV), portanto o excesso de calor deve ser removido do dispositivo através de transferência de calor por condução ou convecção. Uma refrigeração ou ventilação fraca pode levar a que o output do fluxo luminoso venha a sofrer um decréscimo.

Segundo [12] os mecanismos LED raramente ficam inoperacionais de um momento para o outro, portanto é necessário utilizar parâmetros de falha, tais como a degradação, alterações do fluxo luminoso, temperatura da cor ou eficácia, entre outros para determinar o tempo de vida útil do sistema. De todos esses parâmetros o mais significativo é a depreciação lúmen, no entanto existem ainda poucos dados que confirmem que este constitui o parâmetro principal que leva à falha do mecanismo LED. Para medir a consistência do fluxo luminoso, incluindo a cor, existem mecanismos capazes de desempenhar essa função, tais como IES LM-80-08 (*Measuring Lumen Maintenance of LED Light Source*) ou IES TM-21-11 (*Projecting Long Term Lumen Maintenance of LED Light Source*), no entanto, mesmo que as extrapolações sejam feitas corretamente, só podem ser utilizadas para estimar a depreciação lúmen.

3.1.3.1 Definição de tempo de vida

Para que seja possível criar uma medida apropriada é importante escolher um nível de depreciação de lúmen criterioso. Segundo [16] para um espaço de escritórios de serviços comum, foi apurado que, para a maioria das pessoas presentes nesse espaço uma redução de gradual de 30% da luminosidade é o valor máximo para que essa não seja perceptível. Considera-se pois que o limiar de 70% da capacidade luminosa inicial, pode constituir uma marca do fim de vida dum sistema de iluminação LED. É importante reter que para determinados espaços e utilizações os 70% da iluminação inicial podem já não ser suficientes para manter as condições de conforto.

Tabela 3 – Comparação entre a vida útil de alguns sistemas de iluminação [16].

Tecnologia da fonte de iluminação	Tempo de vida útil (horas)¹
Incandescente	750-2000
Halogéneo incandescente	3000-4000
Fluorescente compacta (CFL)	8000-10000
Iodetos metálicos	7500-20000
Fluorescente linear	20000-30000
LED branco (alta potência)	35000-50000

¹ Dados fornecidos pelo fabricante.

¹³ *Lumen depreciation* ou depreciação lúmen trata-se da redução gradual da emissão lúmen de uma fonte luminosa.

Os valores apresentados na tabela anterior revelam que o sistema de iluminação LED tem um tempo de vida útil substancialmente superior aos restantes sistemas de iluminação. No entanto, os dados fornecidos pelos fabricantes não são 100% fiáveis uma vez que não é possível testar o equipamento LED ao longo de toda a sua vida útil. Mesmo que o equipamento estivesse ligado todos os dias da semana, todo os dias do ano, levaria cerca de 5 anos e 8 meses a cumprir as 50000 horas. Assim sendo, estabelecer uma forma de quantificar a vida útil total dum sistema LED é um processo deveras complicado, devido ao custo e à impraticabilidade de efetuar o teste na sua totalidade, essencialmente porque estes sistemas estão em constante desenvolvimento e progresso. De facto, os resultados obtidos ao longo do teste vão-se tornando obsoletos até a conclusão do mesmo [16].

A grande maioria dos fabricantes de LEDs brancos de alta potência, estima que são necessárias 30000 horas até que a fonte luminosa atinja 70% do lúmen inicial, assumindo uma corrente de operação de 350 mA e a temperatura de operação na zona de junção a 90°C. Contudo a resistência térmica dos materiais utilizados para o fabrico das lâmpadas LED estão em constante desenvolvimento, permitindo correntes e temperaturas de operação mais altas, do que alcançado até ao momento. Alguns produtores de LEDs brancos de alta potência afirmam que é possível atingir um tempo de vida útil de 50000 horas até que haja uma depreciação de 70% do lúmen inicial do sistema LED, em operação a 700 mA, ou superior, e a uma temperatura de 100°C [16].

3.1.3.2 Confiabilidade

Durante a aquisição de um produto, especialmente de iluminação, o consumidor exige um produto em que possa confiar, no que diz respeito à durabilidade e funcionamento adequado, pelo menos durante a vida útil do equipamento. Assim sendo, podemos considerar a confiabilidade um parâmetro de medida, com um papel relevante, a ser considerado nas características técnicas dos sistemas LED. Trata-se duma medida estatística que estima a capacidade de um produto funcionar na sua *performance* absoluta sobre condições específicas, ambientais, elétricas e mecânicas, por um determinado período de tempo [12]. Geralmente a informação dada pelo fornecedor

A facilidade de manutenção de um produto depende da capacidade de substituição ou reparação de componentes integrados do sistema, por técnicos regulares. A capacidade de manutenção é um fator que deve ser tido em conta no momento de aquisição de um produto, principalmente em equipamentos onde o tempo de vida útil não pode ser antecipadamente provado ou conhecido. A grande maioria da iluminação LED carece de manutenção, o que leva a recorrer ao fornecedor aquando necessidade de reparação ou substituição.

3.1.4 Vantagens vs. Desvantagens da tecnologia LED

No processo de otimização energética um dos elementos a ter em conta é o tempo necessário para cobrir o investimento efetuado que decorrem da poupança global efetuada. Atualmente, o custo de obtenção de sistemas de iluminação LED pode ser considerado o fator com mais peso no momento de decidir a tecnologia a implementar. No entanto, nos últimos anos o preço tem vindo a diminuir, muito por consequência dos mercados e da competitividade deste setor, da maturidade da tecnologia e da evolução nos processos de produção.

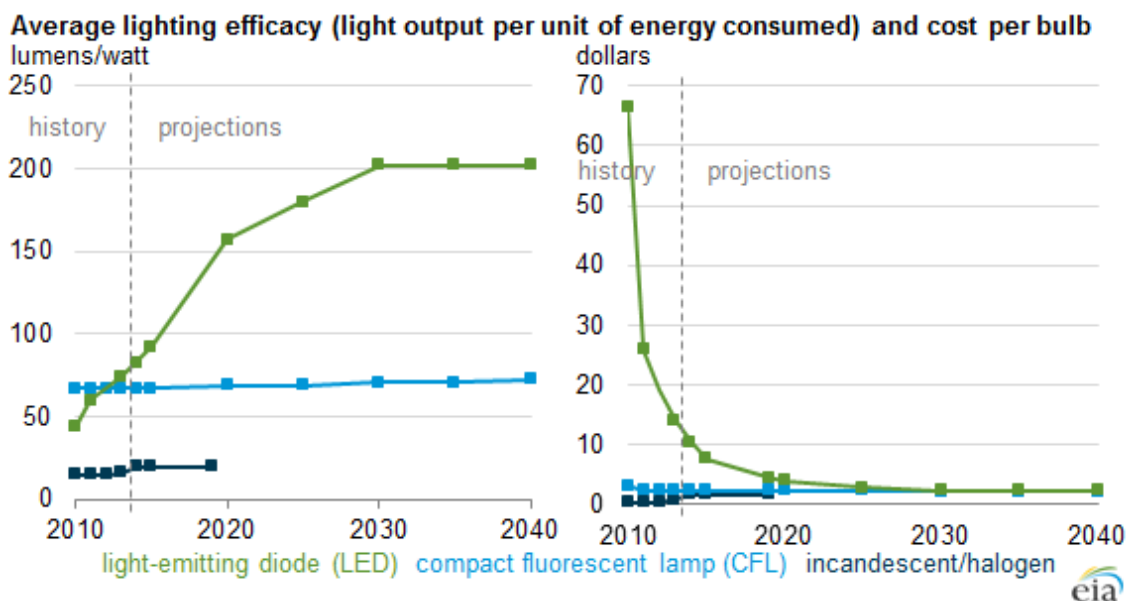


Figura 10 – Projeções de eficácia e preço por unidade de lâmpada LED até 2014 [17].

Segundo *U.S. Energy Information Administration* os dois principais fatores de preferência pela utilização de tecnologia LED encontram-se em desenvolvimento constante, pelo que foi feita uma projeção da evolução desses fatores. Até 2040, espera-se que a eficácia luminosa média (lm/W) duma lâmpada deste tipo venha a duplicar e o preço de aquisição venha a diminuir exponencialmente durante os próximos anos (Figura 10). Esta projeção leva-nos a considerar cada vez mais viável a aplicação de LED.

De acordo com o que foi apurado na bibliografia não existe um valor exato para a vida útil destes componentes, podendo variar entre 10000 horas e 100000 horas de utilização, trata-se portanto duma característica pouco fiável por falta de informação detalhada [12]. Uma vez que, o tempo de vida útil é representado pela depreciação lúmen até 70% da sua intensidade inicial, ao longo deste processo temos uma diminuição luminosa enquanto a potência consumida mantém-se teoricamente inalterada. Verifica-se, portanto, que a eficácia luminosa vai se degradando ao longo do tempo até ao fim da vida útil. Por outro lado, alguns dados afirmam que existem lâmpadas fluorescentes T8 que podem durar cerca de 20000 horas de utilização até atingirem 5% de depreciação luminosa, o que constitui ainda um ponto de dúvida relativamente à tecnologia LED.

É evidente que nesta tecnologia, como em qualquer outra, existem fatores devidamente estudados que constituem pontos fracos. Porém os sistemas de iluminação LED continuam a ser superiores em determinados aspetos, quando comparados com outros, apesar do estado inicial de desenvolvimento tecnológico. A baixa fiabilidade relativa ao tempo de vida útil desta tecnologia pode ser considerado desvantajoso, no entanto é sabido que as lâmpadas LED podem atingir elevadas horas de funcionamento, o valor mais comum atribuído pelos fabricantes são as 30000 horas de funcionamento até atingir 70% do fluxo luminoso inicial. Uma vez que as lâmpadas de tecnologia LED não sofrem uma falha instantânea, estas podem continuar a operar durante o processo de depreciação luminosa, mesmo que o fluxo luminoso atinja níveis mínimos, tornando por isso um fator relevante e determinante para uma utilização eficiente do tempo de vida útil do LED. Esta característica, juntamente com o rácio entre lúmen emitido e potência consumida conferem aos sistemas LED uma eficiência energética mais elevada do que outras fontes de iluminação.

3.2 Estudo de aplicação de película de sombreamento

Na medida em que cada vez mais é promovida e incentivada a utilização de sistemas e soluções passivas¹⁴, temos que mencionar que, por vezes, estas podem ter simultaneamente vantagens e desvantagens para a gestão energética eficiente. Por exemplo, a aplicação de um sistema de sombreamento, pode reduzir desejavelmente a penetração solar nas estações quentes, mas reduzir em excesso nas estações frias, criando condições de desconforto e acrescidas necessidades de climatização. Considerando o conceito de energia solar passiva e, uma vez que as janelas ocupam cada vez mais área exterior, é crucial perceber de que forma é que este fator tem influência no desempenho térmico dos edifícios.

Tendencialmente, o vidro é cada vez mais utilizado na construção, não só por questão estética, mas também pelo conforto visual, resultante da maximização da luz natural. Tendo em conta o conceito de melhoria de conforto e da minimização do consumo energético, de modo passivo, a utilização de sistemas de sombreamento é uma forma de reduzir os ganhos pelos vãos envidraçados.

Na presente secção, pretende-se dar a conhecer o modo de quantificar a influência da aplicação de um sistema de sombreamento nos vãos envidraçados. Esse sombreamento será feito através de uma película aplicada no exterior dos vãos envidraçados com o intuito de diminuir a transmissão de radiação solar que atravessa o vidro, indo ao encontro da otimização dum espaço que detenha sistemas de climatização passivos e/ou mecânicos.

A metodologia utilizada para determinar a influência da película de sombreamento consiste no método de cálculo dinâmico simplificado para o cálculo da carga térmica¹⁵ associada aos ganhos solares através dos vãos envidraçados. Esta metodologia é mais abrangente porque pode ser aplicada a casos em que o fator solar (g) do vão envidraçado seja variável e/ou quando existe sombreamento variável sobre o vão envidraçado.

3.2.1 Método horário simplificado

O modelo 5R1C foi desenvolvido pelo *Centre Scientifique et Technique du Batiment* (CSTB) e encontra-se descrito na Norma Europeia ISO 13790:2008. Este modelo foi concebido para simulação horária numa zona térmica dependente de condições climáticas externas. Este utiliza como suporte a analogia com um circuito elétrico, constituído por cinco resistências e uma capacitância térmicas.

Este modelo traduz o balanço de energia total de um espaço fechado sujeito a várias condicionantes externas e internas sendo possível determinar as necessidades de energia para aquecimento e/ou arrefecimento, $Q_{HV,nd}$, expresso em Wh/h, ou simplesmente W, e é calculado a partir da energia horária necessária por unidade de área de pavimento, $\Phi_{HC,nd}$. Essa energia corresponde ao calor a fornecer ou a retirar ao espaço interno, a partir do nodo da temperatura do ar interior (θ_{air}), a fim de manter a temperatura num valor de referência (*set-point*), θ_{set} .

A Figura 11 representa esquematicamente uma zona térmica constituída por três nodos: temperatura média do ar interior da zona θ_{air} , temperatura estrela, θ_s , temperatura do nodo central, calculada através da média entre a temperatura do ar interior e a temperatura média

¹⁴ Sistemas e soluções passivas são sistemas integrantes do edifício que aproveitam a energia proveniente do sol que é utilizada diretamente como fonte de calor, excluindo os processos de transformação, como os sistemas de produção fotovoltaica ou solar térmicos (Energia solar ativa).

¹⁵ A carga térmica de um espaço consiste nas parcelas de calor sensível e latente que o sistema de climatização deve retirar ou fornecer ao espaço térmico para manter as temperaturas de conforto pré estabelecidas.

radiante e θ_m , temperatura de massa, que representa a temperatura média superficial dos elementos contribuintes para o armazenamento de energia térmica.

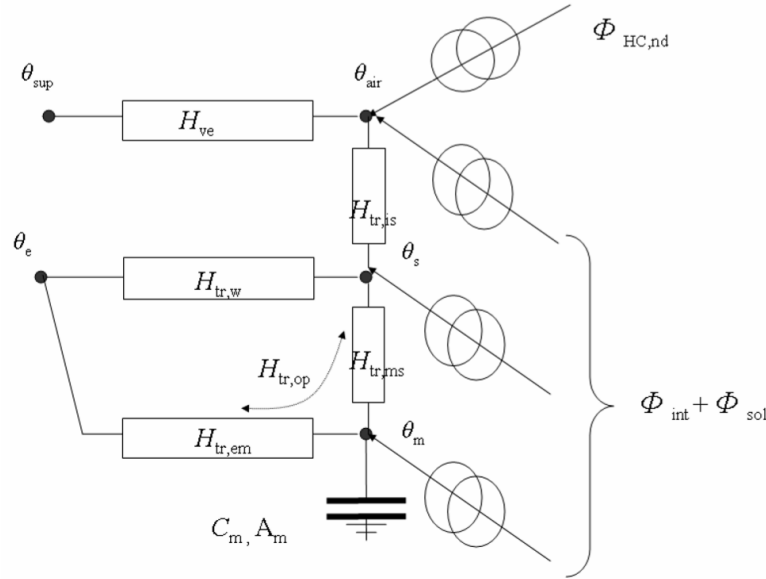


Figura 11 – Circuito térmico de um modelo 5R1C para uma zona térmica [18].

A_m – Área de massa efetiva (m^2);

C_m – Capacitância térmica (J/K);

$H_{tr,em}$ – Coeficiente de transferência térmica entre as temperaturas exterior e de massa (W/K);

$H_{tr,is}$ – Coeficiente de transferência térmica entre as temperaturas interior e de estrela (W/K);

$H_{tr,ms}$ – Coeficiente de transferência térmica entre as temperaturas de massa e de estrela (W/K);

$H_{tr,op}$ – Coeficiente de transferência térmica por transmissão através dos elementos opacos (W/K);

$H_{tr,w}$ – Coeficiente de transferência térmica por transmissão através dos vãos envidraçados (W/K);

H_{ve} – Coeficiente de transferência térmica por ventilação (W/K);

θ_{air} ou θ_i – Temperatura média do ar interior ($^{\circ}C$), e é medido no nodo i ;

θ_e – Temperatura exterior ($^{\circ}C$);

θ_m – Temperatura de massa ($^{\circ}C$);

θ_s – Temperatura estrela ($^{\circ}C$);

θ_{sup} – Temperatura do ar ventilado ($^{\circ}C$);

$\Phi_{HC,nd}$ – Energia horária necessária para aquecimento/arrefecimento (Wh/(h.m²) ou W/m²);

Φ_{int} – Fluxo de calor proveniente das fontes de calor internas (Wh/(h.m²) ou W/m²);

Φ_{sol} – Fluxo de calor proveniente de fontes de aproveitamento solar (Wh/(h.m²) ou W/m²).

A característica fundamental deste método é a consideração de que o edifício pode ser tratado como uma zona térmica única. O cálculo anterior só pode ser efetuado desde que os ganhos

solares estejam devidamente distribuídos pelo espaço e não existam diferenças de temperatura relevantes, uma vez que este modelo faz a distinção entre a temperatura do ar interior e a temperatura das superfícies internas. Trata-se dum modelo interativo que traduz o balanço de energia total de uma zona térmica baseado em simplificações dos fenómenos de transferência de calor que ocorrem entre o ambiente exterior e a zona térmica interior, onde se podem identificar as parcelas de ganhos radiativo e convectivo, consoante a sua proveniência (solar, metabolismo dos ocupantes, equipamentos de iluminação) [18].

Os valores introduzidos devem ser representativos dos parâmetros pertencentes a cada hora, mais propriamente, os perfis de utilização (ar-condicionado e ocupação), ganhos internos, a taxa de renovação de ar interior e a incidência de radiação solar.

3.2.1.1 Definição de variáveis relativas ao armazenamento térmico

- A capacitância térmica de uma zona térmica dum edifício, C_m , é calculada através da soma das capacitâncias térmicas dos elementos do edifício considerado, que se encontram em contacto térmico direto com o ar interior da zona térmica, dado pela equação (4):

$$C_m = \sum k_j \times A_j \quad (4)$$

- Por sua vez, A_m , é a massa térmica correspondente a uma área equivalente, proveniente do somatório da área de massa efetiva dos elementos da zona térmica, equação (5):

$$A_m = \frac{C_m^2}{\sum A_j \times k_j^2} \quad (5)$$

Em que,

k_j é a capacidade térmica por área de elemento de construção j , determinado de acordo com a cláusula 7 da ISO 13786:2007, expressa em J/(m².K), considerando uma espessura máxima efetiva de 10 cm (podendo tomar outro valor consoante a jurisdição nacional), e um período de um dia;

A_j é a área do elemento j , que expressa em m².

A_m é a área de massa efetiva, expressa em m²;

C_m é a capacidade térmica da zona térmica, expressa em J/K;

k_j é a capacidade térmica por área de elemento de construção j , expressa em J/(m².K);

A_j é a área do elemento de construção, j , que contacta com o volume de ar interno e é expressa em m².

Em alternativa ao cálculo destes valores, é possível utilizar valores *standard* para determinação dos mesmos, em função da área de pavimento A_j , e de acordo com a classe de inércia térmica do edifício, uma vez que não estejam disponíveis valores exatos.

Tabela 4 – Área efetiva e Capacidade térmica em função da Classe de inércia.

Classe de inércia	A_m (m ²)	C_m (J/K)
Muito leve	$2.5 \times A_f$	$80000 \times A_f$
Leve	$2.5 \times A_f$	$110000 \times A_f$
Média	$2.5 \times A_f$	$1650000 \times A_f$
Forte	$3.0 \times A_f$	$2600000 \times A_f$
Muito forte	$3.5 \times A_f$	$3700000 \times A_f$

- Coeficiente de transferência térmica por ventilação entre o ar exterior (θ_{sup}) e nodo θ_i , expresso em W/K, é determinado pela seguinte equação:

$$H_{ve} = \frac{\rho_a \times c_a \times \dot{V}_{ve}}{3600} \quad (6)$$

Em que,

ρ_a é a massa volúmica do ar, em kg/m³;

c_a é o calor específico do ar, em J/(kg.K), sendo que, para valores da temperatura do ar insuflado a rondar os 20 °C, $\rho_a \times c_a = 1224$ J/(m³.K);

\dot{V}_{ve} é o caudal de ventilação, em m³/h, e é calculado a partir da taxa de renovação de ar do interior.

O caudal ventilado deve incluir as possíveis formas de renovação de ar dum espaço, através de ventilação natural ou ventilação forçada ou mecânica.

- Coeficiente de transferência térmica por transmissão através dos elementos opacos da envolvente exterior, expresso em W/K, é calculado através da equação (7):

$$H_{tr,op} = \sum A_{op} \times U_{op} \quad (7)$$

Em que,

A_{op} é a área dos elementos opacos da envolvente exterior da zona térmica, em m²;

U_{op} é o coeficiente de transmissão térmica para elementos opacos da envolvente exterior, expresso em W/(m².K).

- Coeficiente de transferência térmica por transmissão através dos vãos envidraçados $H_{tr,w}$, expresso em W/K e é dado pela equação (8):

$$H_{tr,w} = \sum A_w \times U_w \quad (8)$$

Em que,

A_w é a área dos vãos envidraçados, expressa em m²;

U_w é o coeficiente de transmissão térmica para os elementos envidraçados da envolvente exterior da zona térmica, e apresenta como unidade W/(m².K).

- Coeficiente de transferência de calor entre as temperaturas interior e estrela, $H_{tr,is}$, expresso em W/K, e dado pela equação (9):

$$H_{tr,is} = h_{is} \times A_{Tot} \quad (9)$$

Em que,

h_{is} , é o coeficiente de transmissão de calor entre os nodos Θ_i e Θ_s , com o valor referido em [18], $h_{is} = 3,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

A_{Tot} é a soma de todas as áreas das superfícies que se encontram em contacto com a massa de ar do interior da zona térmica, em m^2 . Este valor é obtido por:

$$A_{Tot} = A_f \times \Lambda_{at} \quad (10)$$

Onde,

A_f é a área útil de pavimento¹⁶, expresso em m^2 .

Λ_{at} é um valor adimensional, obtido pela razão entre a área de superfícies interiores e a área de pavimento e normalmente pode-se assumir o valor de 4,5.

Segundo [18] os Ganhos térmicos (Q_{gn}) são provenientes de duas fontes: os ganhos térmicos internos relacionados com as fontes internas de calor (Q_{int}) e os ganhos térmicos solares (Q_{sol}), derivado do aproveitamento a radiação solar. Estes ganhos podem ser calculados para intervalos horários através do fluxo de calor médio proveniente de fontes de calor internas (Φ_{int}) e do fluxo de calor médio devido a fontes de aproveitamento da radiação solar (Φ_{sol}), expressos em $\text{Wh}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ou W/m^2 , pela simplificação fracionária.

- No modelo descrito os ganhos solares são definidos a cada hora e resultam da transmissão direta da radiação solar através dos vãos envidraçados sendo transmitida para o interior da zona térmica e absorvida pelos elementos do interior da zona térmica e a da própria fronteira. Assim sendo, o fluxo de calor médio que atravessa um determinado elemento, proveniente da radiação solar é dado pela equação (11):

$$\Phi_{sol} = I_{sol,j} \sum_k F_{sh,k} \times A_{sol,k} \quad (11)$$

Em que,

$F_{sh,k}$ é o fator unitário de sombreamento de elementos exteriores que causam obstrução à radiação incidente (direta ou difusa) na área do elemento exposto, sendo que este fator varia entre 0 e 1, caso a superfície esteja totalmente sombreada, no primeiro caso, ou sem qualquer sombreamento, no segundo;

$I_{sol,j}$ é a radiação solar média incidente numa superfície k com uma dada orientação j , em W/m^2 ;

$A_{sol,k}$ é a área efetiva de incidência radiativa solar de uma qualquer superfície, opaca ou translúcida, expressa em m^2 e dada pelas equações (12) e (13), para vãos envidraçados e elementos opacos, respetivamente.

$$A_{sol,k} = F_{sh,gl} \times g_w (1 - F_F) A_w \quad (12)$$

¹⁶ Área útil de pavimento de um espaço representa toda a área de um edifício ou divisão do mesmo, consoante o espaço a ser abordado, excluindo caves ou outras partes não habitáveis de um espaço.

$$A_{sol,k} = \alpha_{s,op} \times R_{se} \times U_{op} \times A_{op} \quad (13)$$

Em que,

$F_{sh,gl}$ é o fator de redução de sombreamento para dispositivos móveis;

g_w é o fator solar do vidro que é definido pela fração da radiação solar que atinge a superfície do vidro e que contribui para o aumento da temperatura no interior, incluindo ainda a parcela do calor absorvido pelos mesmos;

F_F é dada pela razão entre a área envidraçada e a área total do vão envidraçado, e podem ser assumidos valores fixos conforme a estação climática, 0,2 e 0,3, para o inverno e o verão, respetivamente;

A_w é a área total do vão envidraçado, incluindo vidro e caixilharia, expressa em m²;

$\alpha_{s,op}$ é o coeficiente de absorção de radiação solar da superfície do elemento da envolvente opaca, é determinado com base na Tabela 5;

R_{se} é a resistência térmica superficial exterior igual a 0,04 m² K/W com base no (Decreto-Lei n.º 80/2006, 2006).

U_{op} é o coeficiente de transmissão termia superficial do elemento da envolvente opaca, em W/(m²K);

A_{op} é a área do elemento da envolvente opaca exterior, em m².

Para o cálculo dos ganhos térmicos solares, podem-se usar valores tabelados para o valor do coeficiente de absorção da radiação solar da superfície exterior de um elemento opaco $\alpha_{s,op}$, em paredes e coberturas, com base na Tabela 5, em função da cor do revestimento da superfície exterior do elemento.

Tabela 5 – Coeficiente de absorção da radiação solar numa superfície opaca, $\alpha_{s,op}$ [19].

Cor	$\alpha_{s,op}$
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Os ganhos térmicos internos (Q_{int}) são definidos horariamente e integram os valores de energia proveniente de todas as fontes de calor que contribuem para o aumento natural da temperatura interna do espaço (excluindo os sistemas de aquecimento auxiliares). O resultado do aquecimento da zona térmica é proveniente da dissipação de calor pelos equipamentos eletrónicos, sistemas de iluminação e metabolismo de pessoas no interior. Assim sendo, o fluxo de calor devido a fontes de calor interno é dado pela equação (14):

$$\Phi_{int} = \Phi_{int,e} + \Phi_{int,i} + \Phi_{int,oc} \quad (14)$$

Em que,

$\Phi_{int,e}$, $\Phi_{int,i}$, e $\Phi_{int,oc}$ são fluxos médios de perda de energia radiativa associados aos equipamentos, iluminação e à ocupação, respetivamente e expressões em W/m² [18]. Pode ser publicado na legislação de cada país os valores tabelados para ganhos internos, como de acordo com [20]

3.2.2 Parâmetros relativos a vãos envidraçados

O coeficiente de transmissão térmica superficial de uma janela (U_w) é uma característica comum quer de janelas, portas ou clarabóias que quantifica o fluxo de calor que atravessa cada um desses elementos por unidade de diferença de temperatura e é expresso em $W/m^2 \cdot ^\circ C$. Por vezes, este valor é apresentado para a janela no seu todo incluindo vidro e caixilharia. Alguns fabricantes de vidro podem fornecer este parâmetro apenas para o elemento constituído pelo vidro. Quanto mais baixo for o valor de U_w , mais energeticamente eficiente será a janela.

O coeficiente de ganhos solares térmicos (SHGC) é a fração da radiação solar que se traduz em calor para o espaço. O vidro recebe a radiação proveniente do sol que o atravessa ou é absorvida e emitida para o interior sob a forma de calor. Quanto mais pequeno for este coeficiente, menos radiação solar sob a forma de calor é transmitida, pelo que o vidro terá uma maior capacidade de “sombreamento”. Um componente com elevado coeficiente de ganhos solares é mais eficaz a admitir calor no inverno, por outro lado no verão, um baixo coeficiente pode ajudar a reduzir as cargas de arrefecimento, bloqueando uma parte dos ganhos solares. A orientação, o clima onde se situa a habitação e o sombreamento externo servem como pontos de referência para determinar um coeficiente de ganhos solares ótimos para um determinado vão envidraçado [21].

A transmitância visível (TV) é a fração de luz visível (entre 380 e 720 nanómetros), sensível pelo olho humano, que atravessa um vidro. A TV dum vidro é expressa entre zero e um, e quando mais se aproximar da unidade, maior quantidade de luz visível atravessa o mesmo. O valor de TV desejado para um vão envidraçado depende das necessidades de iluminação natural do edifício ou da redução de brilho desejada de um determinado espaço [21].

É pois importante haver um equilíbrio entre a luz visível transmitida e a quantidade de calor que atravessa o vidro, proveniente do sol. A *Light-to-solar Gain* (LSG) é o rácio entre o coeficiente de ganhos solares térmicos e a transmitância visível. Esta razão providencia um indicador da eficiência relativa de diferentes tipos de vidros, na transmissão de luz do dia enquanto bloqueia ganhos térmicos. Quanto maior for esta medida, mais luz visível é transmitida através do vidro sem ganhos térmicos adicionais excessivos. No entanto esta característica nem sempre é disponibilizada pelos fabricantes [21].

3.2.3 Tipo de filtros solares

No momento de escolher um tipo de filtro a aplicar na janela, é preciso ter em consideração a que tipo de vidro ou vidros se pretende aplicar. Estes fatores, se corretamente adicionados, conseguem aumentar a eficiência energética de toda a habitação. O tipo de filtros ou mesmo o tipo de janelas pode ser diferente ao longo da habitação, sendo que essa opção é tomada de acordo com a orientação das janelas, do clima ou do *design* do edifício.

Mas mais importante ainda é conhecer os tipos de filtros que podemos aplicar e que tipo de tecnologia usam para o efeito que se pretende. São conhecidos vários sistemas de redução de transferência de energia solar térmica através do vidro para o interior das habitações, sendo que uns mais eficientes que outros. No entanto há uma característica crucial, que é o momento em que pode ser ou não aplicado esse sistema de filtragem radiativo, o *Gass fills* aproveita o espaço entre vidros duplos, e alguns fabricantes de janelas introduzem, em vez de ar, um gás inerte – como o Árgon ou Criptón - no espaço vazio entre os vidros, oferecendo uma maior resistência ao fluxo de calor, ou seja menor *U-value*. Tintas com elevada absorção de calor são outra solução a aplicar em vãos envidraçados, estas tintas têm a capacidade de mudar a cor do vidro. O vidro colorido absorve uma grande fração de radiação solar que atinge o vidro, reduzindo o coeficiente de ganhos solares térmicos, a TV e a claridade. Contudo, algum calor continua a atravessar janelas com vidro colorido, através de condução e emissão da radiação absorvida, o que revela que a tinta por si só não diminui o valor de SHGC. A este tipo de coloração podem ser ainda adicionados revestimentos de seleção espectral, no vidro interior ou entre zona isolada, a fim de ajudar a reduzir essas formas de transferência de calor. As tintas mais comuns são os tons de cinzento e

bronze, no entanto este tipo de filtro não faz seleção espectral, pelo que reduz tanto a penetração de calor como a de luz. Outras cores, como o azul e o verde oferecem uma excelente penetração de luz visível, mas reduz ligeiramente a transferência de calor comparando com outras cores. Em climas quentes, deve ser evitada a cor preta uma vez que esta resulta numa maior resistência à luz do que ao calor. É de referir que um corte significativo da transmissão de luz visível pode afetar o ambiente no interior da habitação, como por exemplo, as plantas tendem a morrer ou crescer mais devagar quando expostas a menos 70% da luz visível [22].

Por outro lado, através dum processo mais simples, com a implementação duma camada de revestimento do vidro é possível obter resultados mais próximos do desejado e com maior controle das limitações impostas pelo filtro. Segundo [22] existem três géneros de revestimentos: revestimentos de baixa emissividade, revestimentos refletivos e revestimentos de seleção espectral. Os primeiros (mais conhecidos por *low-e*) controlam a transferência de calor através da janela em múltiplos vidros com caixa-de-ar. A aplicação deste revestimento filmico numa janela comum, com vidro duplo, pode implicar poupanças energéticas na ordem dos 30 a 50%. Este filtro de baixa emissividade é composto por uma camada metálica ou de óxido metálico que é depositado diretamente na superfície do vidro ou dos vários vidros, obtendo uma forma quase invisível devido à sua camada microscopicamente fina. A sua eficiência energética é alcançada quando este tipo de filtros baixam o *U-value* e, para diferentes aplicações, foram criados diferentes índices *U*, associados a baixos ou elevados fatores solares. Ainda assim não existe controlo sobre a influência desta gama na transferência de luz visível, a não ser que tenha seleção espectral. Embora os filtros de baixa emissividade sejam usualmente aplicados no momento de fabrico das janelas, eles podem ser aplicados mais tarde em qualquer vidro, tornando o investimento menos dispendioso comparando com a substituição total da janela, tendo uma durabilidade de 10 a 15 anos, sem degradação da película, economizando energia e melhoria de conforto da habitação.

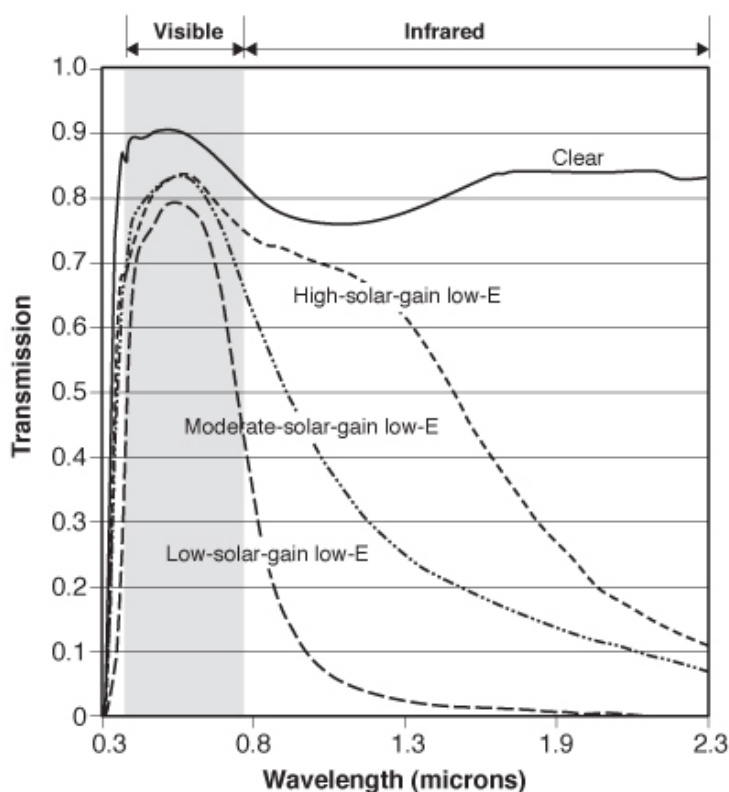


Figura 12 – Curvas da transmitância espectral para vidros com revestimento de baixa emissividade, *low-e* [23].

Com a análise da Figura 12, podemos verificar o efeito das películas com diferentes emissividades sobre a radiação solar de comprimentos de onda distintos. Um vidro simples comum normalmente apresenta uma emissividade na ordem dos 0.84, no entanto já é possível usar filtros *low-e* que atingem emissividades bem inferiores, na ordem dos 0.04, o que nos revela que o vidro está apto para refletir 96% da radiação incidente, radiação com comprimento de onda superiores, na gama dos infravermelhos. O efeito criado por estes revestimentos pode ser incorporado ao valor U do vidro apresentado pelo fabricante [23].

Os revestimentos refletivos aplicados em vidro duplo ou simples reduz a transmissão de radiação solar, com a característica de bloquear mais luz do que calor, portanto estes filtros essencialmente reduzem a TV da janela e a claridade, mas, ainda assim, conseguem diminuir também o coeficiente de ganhos solares térmicos da mesma. Estes filtros solares normalmente consistem numa fina camada metálica, e podem ser produzidas em várias cores. Janelas com efeito refletivo são comumente utilizadas em zonas de clima quente, a fim de controlar os ganhos solares térmicos. Numa habitação com estas aplicações, a diminuição carga de arrefecimento pode ser compensada pela necessidade do incremento de utilização de eletricidade para utilização de iluminação artificial. Consequentemente vidros refletivos são utilizados em aplicações específicas [23].

O último revestimento reconhecido pelo *U.S. Department of Energy* é denominado como especial. Estes revestimentos com seleção espectral filtram 40 a 70% do calor transmitido numa janela, com vidro duplo ou simples, e isolada, exposta a radiação solar, permitindo a penetração de praticamente toda a luz solar. Portanto estes filtros são desenvolvidos para refletir radiação com um determinado comprimento-de-onda, mas permanece transparente a outros. É comum que tais revestimentos sejam usados para refletir a porção de radiação infravermelha (calor) do espectro solar enquanto admite mais luz visível que os outros revestimentos. Esta tecnologia ajuda a aumentar os fatores que influenciam a eficiência energética numa janela, através do aumento do coeficiente de transmissão térmica e do coeficiente e ganhos solares térmicos, no entanto a transmitância térmica mantém-se elevada [22].

Filtros de seleção espectral pode ser aplicados em vários tipos de vidro colorido, a fim de obter um *mix* no vão envidraçado, por forma a incrementar ou diminuir os ganhos solares de acordo com a estética e efeitos climáticos desejados. Resultados de simulação têm mostrado que janelas com bons filtros seletivos podem reduzir as necessidades energéticas de climatização de novas habitações, em climas quentes, em mais de 40% [22].

3.3 Sistemas Solares Fotovoltaicos (*On-Grid* vs. *Off-Grid*)

Atualmente, existem dois tipos de instalações de sistemas solares fotovoltaicos (PV): sistema *On-Grid* e *Off-Grid*. O sistema *On-Grid* está conetado à rede de distribuição de energia elétrica e é utilizado quer para complementar o consumo de energia elétrica ou para fornecer energia à rede elétrica. Por outro lado, o sistema *Off-Grid* não se encontra ligado à rede de distribuição e é usualmente utilizado em zonas mais remotas, isoladas do fornecimento de energia elétrica, em alternativa à utilização de soluções tradicionais para a produção de energia elétrica, como a queima de combustíveis fósseis. Por exemplo, poderá ser utilizado para bombeamento solar *in situs*.

De acordo com [24] existe um leque variadíssimo de sistemas de uso final de energia solar fotovoltaica (PV), regido por algumas complexidades. Analisando os sistemas *On-Grid* e os *Off-Grid* percebemos que têm em comum alguns atributos técnicos e funcionais, mas cada um desempenha uma função diferente consoante as respetivas necessidades. Por exemplo, ambos os sistemas podem utilizar a mesma tecnologia de módulos, serem instalados da mesma forma, estarem presentes na mesma zona climática e fornecer a mesma quantidade de energia em corrente alterna (AC) a um consumidor hipotético. O sistema *On-Grid* será certamente menos dispendioso,

por kW, na instalação e manutenção, e o seu funcionamento será mais eficiente do que um sistema *Off-Grid*.

Nos sistemas *On-Grid* a energia produzida em corrente contínua (DC) é convertida em corrente alterna. Esta energia pode ser posteriormente utilizada por uma determinada carga no local de produção ou injetada na rede elétrica de serviço público (RESP). A conversão da corrente elétrica acontece à saída do módulo PV e é feita através de um inversor (a descrição mais detalhada será feita na secção 3.3.2.2). Como qualquer outra fonte de produção energética ligada à rede elétrica, a energia produzida em corrente alterna injetada na rede deverá ser sincronizada com tensão e frequência da corrente elétrica da RESP [24].

3.3.1 Funcionamento adequado de um sistema PV

Um sistema PV em funcionamento adequado é aquele que ao longo do seu funcionamento apresenta uma melhor *performance*, segurança e fiabilidade. A *performance* dum sistema PV é qualificada pela quantidade de energia produzida e/ou pelo cumprimento das perspetivas financeiras com que o sistema foi projetado. Num sistema ligado à rede elétrica (*On-Grid*) a sua medida de sucesso é feita de acordo com o máximo de energia entregue à rede segundo as condições locais. Uma projeção adequada, instalação e manutenção são a chave para maximizar o desempenho de um sistema PV [24].

Para a segurança do sistema PV é crucial que esteja de acordo com os regulamentos e parâmetros elétricos locais. Os componentes do mesmo devem ser certificados pelas normas de segurança existentes, para que não haja perigo de choques ou perigo de geração de incêndios. Atualmente, aquando a produção de um sistema PV espera-se que este dure, em plenas condições de funcionamento, aproximadamente 25 anos. Quantos mais sistemas estiverem ligados à rede mais importante será a fiabilidade do sistema, uma vez que a rede se encontra mais dependente da energia produzida. Essa dependência deriva da incapacidade de colmatar défices energéticos, criados pelas falhas nas unidades de produção que se relacionam com a dita fiabilidade do sistema PV [24].

3.3.2 Principais componentes de um sistema *On-Grid*

3.3.2.1 Coletores solares

As características técnicas mais importantes para distinguir e identificar coletores solares a aplicar num sistema PV são as suas especificações elétricas e físicas. As características elétricas principais são: a tensão em circuito aberto (V_{OC}), a corrente em curto-circuito (I_{SC}), os valores de corrente do ponto de máxima potência (I_{mpp}) e os valores de tensão do ponto de máxima potência (V_{mpp}), ou seja, os valores de corrente e tensão correspondentes à máxima potência produzida pelos coletores solares. Os fatores físicos com relevância para uma escolha assertiva são: dimensões, peso, material de cobertura e método/requisitos de montagem. Estas características descritas anteriormente têm uma interferência direta no desempenho do sistema. Por outro lado a sua aparência e forma apenas têm impacto na integração na aparência exterior do edifício [24].

3.3.2.2 Inversores de carga

Segundo [24], os inversores de carga são muitas vezes o segundo componente mais importante de um sistema PV. Esta importância deve-se ao facto de que a maioria das cargas das habitações ou da rede de distribuição pública funcionam em AC. Uma vez que os módulos produzem energia em DC cabe ao inversor converter essa mesma energia em AC para que esta se

encontre sincronizada com os parâmetros de tensão e frequência da rede. É do interesse do consumidor que a escolha do inversor recaia sobre a sua eficiência de conversão, uma vez que este componente se encontra no sistema entre as cargas e os coletores, dessa forma é o inversor que vai alimentar as cargas portanto requer uma eficiência de conversão elevada para que haja menos perdas possíveis desde a produção até à sua utilização. Segundo a literatura os inversores de carga podem atingir eficiências superiores a 95%. Os valores de eficiência observados ocorrem em condições de operação ótimas para um sistema PV em que o arranjo de coletores é dimensionado de acordo com as especificidades técnicas do inversor. O inversor de carga deve estar certificado por uma entidade competente e é desta forma que é garantido que, em funcionamento, este dispositivo apresenta todas as condições de segurança.

Além de converterem a corrente contínua em alterna, os inversores têm ainda a função de regular o funcionamento ótimo do sistema fotovoltaico. Na medida em que existem variações de temperatura, intensidade de irradiância solar¹⁷ e vento, o inversor deve ajustar a corrente e a tensão em DC por forma a maximizar a potência fornecida pelos arranjos de coletores [25]. Essa função é realizada constantemente através da monitorização dos Pontos de Potência Máxima (MPP) e a alteração da resistência do sistema. Essa gestão pode ser descrita pela equação (15).

$$P = R \times I^2 \quad (15)$$

$$P = V \times I \quad (16)$$

Em que,

P é a potência, em W;

R é a resistência, em Ω ;

V representa a tensão, em V.

I é a intensidade de corrente, em A.

Nos sistemas PV ligados à rede elétrica nacional, o inversor garante o suporte e segurança da rede consoante as necessidades da mesma. De acordo com o modo de funcionamento do inversor, este monitoriza constantemente a distribuição de potência fornecida à rede e, caso a tensão e frequência de saída do inversor não se enquadrem com as características específicas da rede, o inversor desliga imediatamente do sistema da rede.

Por norma, o inversor deve ser escolhido para que a potência à saída do arranjo de coletores, em W_p , coincida com a potência máxima de entrada permitida pelo inversor [26]. Caso seja escolhido um inversor sobredimensionado poderá ocorrer uma redução da eficiência do mesmo e consequentemente diminuição da energia global gerada pelo sistema. Cabe ao projetista garantir que o arranjo de coletores e o inversor coincidam em termos de tensão, corrente e potência, para que seja garantido um funcionamento seguro e eficiente de todo o sistema PV. Este dimensionamento pode ser executado com o auxílio de *softwares*, como por exemplo: *PVsyst*.

3.3.2.3 Arranjo de coletores.

Num sistema PV existem diversas possibilidades de instalação e arranjo de coletores. No entanto, uma instalação adequada é decisiva para obter o rendimento previamente determinado na fase de dimensionamento. A forma como os coletores são ligados entre si deve estar de acordo com o inversor de carga escolhido. Para determinar o número de módulos PV que podem ser

¹⁷ Irradiância solar é quantidade de energia solar incidente por unidade de área.

colocados em série, é necessário considerar a tensão máxima e mínima de entrada do inversor, e reduzir em 5% e 1%, respetivamente, para que se obtenha uma margem de segurança de funcionamento do inversor. Os limites do inversor terão que corresponder aos valores de V_{mpp} correspondentes à máxima e mínimas temperaturas de operação dos módulos PV. Caso esse arranjo de coletores seja insuficiente para satisfazer a potência desejada, é necessário serem ligadas várias séries de módulos em paralelo [24].

3.3.2.4 Estrutura

Atualmente, de acordo com [24], existem vários tipos de estruturas de suporte para os módulos PV. A estrutura escolhida depende da aplicação, ou seja, difere caso se deseje montar o sistema no chão, no topo dum edifício ou mesmo na fachada. Os edifícios de comércio e serviços normalmente não são apropriados para suportar cargas elevadas na sua cobertura, pelo que se torna aconselhável instalar a estrutura de suporte com ângulos mais baixos para que os módulos não sofram demasiado efeito do vento. Por outro lado é possível que a instalação seja feita no chão, por módulos estáticos ou de seguimento solar. Um sistema PV concebido para seguimento solar torna-se mais dispendioso, no entanto acaba por ser compensatório uma vez que este sistema permite a captação de uma maior quantidade de radiação solar.

3.3.3 Horas Pico Solares e Potência de Pico Total

Embora a radiação emitida pelo sol seja constante, existe uma variação significativa daquela que é recebida pela superfície terrestre. Este fenómeno é causado pela órbita terrestre, isto é pela rotação no seu próprio eixo e pelo fenómeno de albedo. Cabe ao projectista quantificar a energia recebida no local da instalação ao longo do ano, designada de irradiância solar (I_{sol}). Essa energia radiativa é contabilizada por elemento de área ao longo de um dia, e pode ser medida em $Wh/m^2.dia$ ou por Horas Pico Solares (PSH). O número de PSH diárias corresponde ao número equivalente de horas, em que é recebido, uma quantidade normalizada de potência por área, $1 kW/m^2$, e serve de indicador da quantidade de energia radiativa recebida por dia e por metro quadrado [26].

Os módulos PV, por sua vez, são avaliados em Watt Pico (W_p). Esta é a potência que o módulo fornece a uma carga compatível, quando este recebe $1 kW/m^2$ de radiação solar em *Standard Test Conditions*¹⁸ (STC). A potência pico total (P_{pico}) de um conjunto de módulos ligados entre si é determinada pela soma das respetivas potências, em W_p . Esta característica dos módulos PV é a que permite ajustar a produção de energia elétrica às necessidades de carga e às condições locais. Para uma estimativa correta, a energia produzida diária, mensal ou anualmente, por um sistema PV, em Wh, é obtida pelo produto da sua potência (W_p), o número de horas efetivas, ou PSH, de irradiância incidente no coletor durante o período de tempo desejado e por um determinado *Performance Ratio* (PR), que conta com as perdas totais do sistema PV em operação [24].

3.3.3.1 Cálculo da Potência Pico

- O valor da potência pico do sistema P_{pico} e das horas solares pico (PSH) diárias do mês para o local de referência é dado a partir das equações (17) e (18) [26].

$$PSH = \frac{I_{diária}}{10^3} \quad (17)$$

¹⁸ Condições Padrão de Teste: Temperatura da Célula 25 °C; Irradiância 1000 W/m²; AM (*Air Mass*) 1.5.

$$P_{pico} = \frac{E_{PV}}{PSH} \quad (18)$$

Em que,

PSH são as Horas Pico Solares;

P_{pico} é a Potência pico do sistema PV, em W_p;

$I_{diária}$ é a irradiância média diária do mês de referência, em Wh/m²;

E_{PV} é a *baseline* da produção energética, em Wh.

Capítulo 4 – Descrição global do hotel

O edifício

insere-se numa zona urbana edificada, circundado por edifícios, de altura igual ou inferior, exceto na fachada orientada a sudoeste (SW).

O sistema de climatização é composto por *Chiller* de permuta de calor ar-água do tipo bomba de calor, composto por quatro tubos, sendo dois deles destinados à distribuição e recuperação total do calor em função de aquecimento e os outros dois para o modo de arrefecimento. O calor fornecido ou retirado ao espaço térmico é feito através de ventiloconvetores em que a permuta de calor dá-se entre a água distribuída nas tubagens e o ar enviado para o quarto. O sistema de produção de energia térmica é constituído por um *Chiller* ar-água do tipo bomba de calor, com recuperação de calor, com potência de aquecimento de 344 kW e de arrefecimento de 364 kW, com COP igual a 2,36 e EER igual a 2,45, .

4.1 Análise prévia à instalação

No final do Verão de 2014 a *Blastingfm*¹⁹ foi contactada após o reconhecimento de um trabalho de poupança energética realizado noutra instalação. A direção do hotel tinha como objetivo reduzir consumos e, para tal, solicitou à *Blastingfm* que analisasse do ponto de vista energético as divisões com maior potencial de poupança de energia elétrica. Aquando a presença da *Blastingfm* foi dada a informação de que a potência para iluminação era excessiva, e que existia um elevado consumo derivado da iluminação, com luminárias de halógeno, e um

¹⁹ A *Blastingfm* é uma empresa com a missão de desenvolver e implementar soluções de gestão energética e conservação ambiental em empresas, indústria, particulares, hotéis e restaurantes.

sobreaquecimento dos quartos do primeiro piso, consequente da elevada penetração da radiação solar através dos vãos envidraçados, uma vez que estes se encontram orientados a sudoeste e ocupam cerca de 80% da fachada. Tendo em conta aquilo que foi observado existia vontade de reduzir a potência de carga instalada e reduzir o consumo de energia com ar-condicionado. Foi apresentada uma proposta de MRCE ao hotel posteriormente aceites por parte da administração do mesmo, baseadas na substituição das luminárias nos quartos e corredores do hotel.

4.2 Avaliação preliminar

De acordo com as conclusões obtidas na primeira análise foi realizada uma avaliação energética às instalações , tendo sido feita, posteriormente, uma proposta de aumento de eficiência e racionalização energética. A implementação de uma MRCE não seria, de certa forma, suficiente para verificar o potencial de poupança energética. Dessa forma recorreu-se ao estudo mais detalhado do impacto da aplicação de soluções com maior impacto do ponto de vista de redução de consumos, juntamente com a avaliação económica das soluções adotadas. Na maioria dos casos as medidas com retorno financeiro rápido são aceites pelas entidades auditadas.

Nos capítulos seguintes serão apresentadas e descritas as medidas de intervenção consideradas viáveis, bem como a previsão de redução de consumo energético anual. As medidas apresentadas prendem-se essencialmente com: i) a substituição da iluminação existente por sistemas mais eficientes, ii) dimensionamento dum sistema fotovoltaico para fins de autoconsumo e iii) a aplicação de uma película de sombreamento para os quartos com consumo de ar-condicionado mais elevado, derivado dos ganhos solares excessivos.

Durante a primeira avaliação no local foi constatado que em alguns espaços do hotel as luminárias existentes poderiam ser substituídas por outras com potência mais baixa e maior eficiência energética. Para além disso, uma vez que em grande parte dos estabelecimentos comerciais e de serviços, a maior percentagem do consumo elétrico é verificado durante os períodos de maior disponibilidade de radiação solar, então é possível não só aproveitar o recurso solar e abastecer diretamente as cargas da instalação, como também diminuir a potência de ponta absorvida pelas mesmas.

Capítulo 5 – Substituição da iluminação

5.1 Planeamento Inicial

Durante a observação das instalações verificou-se a existência de um número elevado de lâmpadas de halogénio (nos quartos e *halls* de elevadores) e fluorescentes (na garagem e nos escritórios administrativos). O problema da utilização desta tecnologia prende-se com o facto de que requer a utilização simultânea de equipamento eletrónicos, como transformadores eletromagnéticos para as lâmpadas de halogéneo, e arrancadores e transformadores ferromagnéticos no caso de lâmpadas fluorescentes, representando um possível acréscimo no consumo de energia. A solução adotada para reduzir o consumo com a iluminação foi a substituição das lâmpadas existentes por tecnologia LED, uma vez que estas têm um sistema de funcionamento mais eficiente e operam com uma tensão de 220 \tilde{V} ²⁰ (Anexo C), coincidente com a tensão da rede elétrica. Além das vantagens associadas ao consumo energético, é importante referir que as lâmpadas LED possuem um tempo de vida útil mais elevado, como já foi referido no subcapítulo 3.1.3.

Considerou-se intervir em quartos e *halls* de elevador, uma parcela da garagem e em dois escritórios administrativos. A escolha dos espaços intervencionados foi feita em conformidade com o desejo do cliente e com o parecer dado pelo projetista da empresa *Blastingfm*. Foi executado um levantamento do número e tipo de lâmpadas dos espaços selecionados a fim de determinar a potência instalada em iluminação, tendo em conta os dados fornecidos pelos fabricantes. É de salientar que a potência teórica de operação geralmente não coincide com a potência medida no local no momento da utilização das luminárias. Portanto, o objetivo principal do cálculo de potência instalada serve sobretudo para uma comparação teórica entre as estimativas de consumo de energia antes e após implementação da MRCE.

Tabela 6 – Número e potência das lâmpadas constituintes dos diferentes espaços.

	Tipos de Lâmpadas		
	Halogéneo	Fluorescente (60 cm)	Fluorescente (120 cm)
Quartos	742	–	–
Halls	63	–	–
Escritórios	–	26	–
Garagem	–	–	21

As lâmpadas de Halogéneo previamente instaladas nos quartos como nos *halls* têm uma potência de 35 W, enquanto que na garagem e no escritório estavam instaladas lâmpadas tubulares de 60 e 120 cm, com potência de 18 e 36 W, respetivamente. É de salientar que as tecnologias previamente utilizadas requerem a utilização de transformadores habilitados para reduzir a tensão de entrada na lâmpada, alterando a tensão da eletricidade proveniente da rede, de 220 \tilde{V} para aproximadamente 12 \tilde{V} . No entanto a operação realizada pelos transformadores muitas vezes carece de consumo de energia elétrica, o que vai aumentar a potência total do sistema de iluminação aquando da sua utilização.

²⁰ \tilde{V} é a unidade que representa o valor da Tensão em corrente alterna.

Tabela 7 – Quantidades de transformadores constituintes do sistema intervencionado.

	Tipo de Transformador	
	<i>Electromagnético (tipo 1)</i>	<i>Ferromagnético (tipo 2)</i>
Quartos	424	–
Halls	63	–
Escritórios	–	13
Garagem	–	19

Nos quartos estavam operacionais sete lâmpadas de halogéneo do tipo GU5.3, em que três estavam no WC e as restantes quatro estavam distribuídas pelo quarto. Verificou-se a existência de dois transformadores do *tipo 1* (eletromagnéticos) no WC, um deles ligado a duas lâmpadas e o outro a uma lâmpada. No restante espaço do quarto as 4 lâmpadas estavam ligadas a dois transformadores. Nos *halls* de elevadores dos pisos constatou-se que cada uma das nove lâmpadas estava ligada a um transformador do *tipo 1*. Na garagem, cada uma das dezanove armaduras instaladas eram compostas por um transformador do *tipo 2* (ferromagnético) e uma lâmpada tubular T8 de 120 cm, excetuando duas das armaduras, que tinham duas lâmpadas em funcionamento. Nos dois escritórios administrativos foram encontradas treze armaduras com um transformador em cada, conetado a duas lâmpadas tubulares T8 de 60 cm.

Tabela 8 – Número total e tipo de lâmpadas constituintes do sistema.

Tipo de lâmpada	Unidades
Halogénio 35 W	805
T8 60 cm	26
T8 120 cm	21

O maior problema nesta análise recaiu na quantificação da potência de funcionamento dos transformadores. Foi, por isso, medida a potência de funcionamento dos transformadores isolados e do conjunto transformador mais lâmpada, com o intuito de determinar uma potência de operação média dos transformadores. Testou-se o consumo de alguns dos transformadores retirados, com o auxílio de um medidor de potência, e verificou-se alguma irregularidade na potência de funcionamento dos mesmos. O mesmo aconteceu quando estes eram acoplados às lâmpadas previamente instaladas, Anexo F. Foi então considerado desprezável o efeito dos transformadores do *tipo 1*, ou seja, potência igual a 0 W, e para os transformadores do *tipo 2* foi utilizada uma potência de 9 W.

A variação dos valores obtidos no anexo, depende essencialmente do estado de degradação dos transformadores e de todo o sistema elétrico da iluminação, bem como o tempo de utilização, influenciando assim o desempenho dos mesmos durante o período de operação. Outro parâmetro que pode influenciar a potência de carga dos transformadores é o facto de alguns deles, como referenciado anteriormente, estarem ligados a duas lâmpadas.

Tabela 9 – Potência instalada para iluminação, pré-intervenção.

	$P_{iluminação}$ (W)	$P_{transformadores}$ (W)
Quartos	25970	–
Halls	2205	–
Escritório	468	117
Garagem	756	171
Potência total (W)	29687	

A maior preocupação neste sistema centra-se na elevada potência de funcionamento das lâmpadas halogéneas instaladas nos quartos e *halls* dos elevadores, havendo alternativas mais eficientes. Cada lâmpada de halogéneo implica uma carga de 35 W, valor que se divide em potência de iluminação, perdas térmicas pela fonte luminosa e ainda outras perdas derivadas dos constituintes do circuito elétrico. Considerou-se negligenciável o efeito de carga provocado pelos arrancadores uma vez que estes apenas funcionam no início de utilização das lâmpadas tubulares, pelo que se supõe que a potência total anteriormente instalada teria um valor maior que o mencionado na Tabela 9.

5.2 Plano de implementação da MCRE

A proposta apresentada visou estimar o custo de operação e consumo de energia dos equipamentos de iluminação instalados antes e após a intervenção. É importante ficar explícito que os cálculos efetuados foram feitos com base em valores de potência facultados pelo fornecedor, valores esses que nem sempre correspondem com os valores reais medidos *in loco*, mas que podem ser consideradas aproximações aceitáveis.

Tabela 10 – Número e potência das lâmpadas a instalar.

Tipo de lâmpada	Potência (W)	Unidades
GU10 LED	6	699
T8 LED 60 cm	9	26
T8 LED 120 cm	18	22

A iluminação que foi implementada no edifício é composta por três tipos de LEDs, dependendo do espaço intervencionado, sendo todas as luminárias da marca *OptonicaLED*. Nos quartos e *halls* dos elevadores optou-se por usar lâmpadas, modelo *bulb* GU10 de 6 W, que operam entre 220 V e 240 V, com fluxo luminoso superior a 350 lúmen e com um tempo de vida útil superior a 25 000 horas, segundo o indicado pelo fabricante (Anexo C). As tubulares T8 dos escritórios são de 60 cm de comprimento, com potência de 9 W, e com emissão luminosa superior a 720 lm, enquanto na garagem foram usadas lâmpadas T8 de 120 cm de 18 W, com fluxo luminoso maior ou igual a 1440 lm. Tal como para as lâmpadas a instalar nos quartos e nos *halls*, é expetável que as tubulares atinjam uma vida útil de 25000 horas de funcionamento.

Tabela 11 – Potência teórica instalada para iluminação e tempo de utilização previsto, após-intervenção.

	$P_{iluminação}$ (W)	$h_{utilização}$
Quartos	3816	3
Halls	378	24
Escritório	234	10
Garagem	396	24
Total	4824	–

Em termos de estimativa foi considerado um período médio de utilização da iluminação dos quartos de três horas diárias, nos escritórios de dez horas laborais (das 9h às 19h) e na garagem e nos *halls* de elevador regime permanente de funcionamento.

Tabela 12 – Potência instalada, antes e depois da intervenção.

Potência total inicial (W)	Potência total LED (W)
29687	4824

Com a instalação de iluminação mais eficiente, nomeadamente de tecnologia LED, é teoricamente possível reduzir em cerca de 80% a potência instalada, como se pode constatar pela Tabela 12.

5.3 Estudo da substituição da iluminação

O desenvolvimento deste estudo pretende determinar o impacto causado pela aplicação de uma MRCE no ponto de vista teórico tomando em consideração a avaliação económica e energética. Para isso é necessário determinar a quantidade de energia elétrica que se estima poupar ao longo do ano com o plano de substituição da iluminação e de acordo com o período estimado de utilização em cada área de intervenção e com a informação apresentada em 5.2. Na avaliação económica será considerada a tarifa de compra de energia elétrica à RESP, segundo a potência contratada em regime de BTE.

5.3.1 Quantificação da poupança energética

- Para o cálculo da energia elétrica anual consumida pelo sistema e dos custos associados à compra de energia à rede antes e depois da renovação das luminárias (substituição por LED) foram utilizadas as seguintes equações:

$$Energia = Potência \times tempo \quad (19)$$

$$Custo = Energia \times Tarifa \quad (20)$$

Em que,

Energia corresponde à energia elétrica, em Wh;

Potência à potência, em W;

tempo corresponde à duração do funcionamento dos equipamentos, em h;

Custo corresponde ao valor gasto, em €;

Tarifa é o valor pago por unidade de energia consumida, em €/Wh.

A poupança financeira prevista pela substituição do sistema foi calculada pela diferença entre o custo de consumo de energia elétrica utilizando a tecnologia LED e o custo de utilização da tecnologia fluorescente e halogénica, assumindo um período de funcionamento constante.

Tabela 13 – Alteração de potência e poupança energética anual.

Setor	Potência (W)		Quantidade				Energia anual consumida (kWh)	
	F. e H. ¹	LED	F. e H.	LED	h _{utilização}	Dias	F. e H.	LED
Lâmpadas Quartos	35	6	742	636	3	365	28437	4179
Transf. Quartos	–	–	424	–	3	365	–	–
Halls	35	6	63	63	24	365	19316	3311
Transf. halls	–	–	63	–	24	365	–	–
Garagem	36	18	21	22	24	365	6623	3469
Transf. Garagem	9	–	19	–	24	365	1498	–
T6 60 cm	18	9	26	26	10	260	1217	608
Transf. Escritório	9	–	13	–	10	260	304	–
¹ Fluorescentes e Halogéneas						Total	57395	11567

Com a aplicação direta das equações (19) e (20), foram obtidos valores estimados de consumo anual, dependendo do sistema de iluminação e tempo de funcionamento de cada um deles. Tendo em conta o período de funcionamento anual do hotel, considerou-se que a iluminação da garagem e dos quartos seria acionada todos os dias do ano, enquanto nos escritórios só é utilizada durante os 260 dias, coincidindo com os dias úteis laborais. A estimativa realizada contém erros associados, visto não ser possível determinar exatamente o tempo de utilização das lâmpadas ao longo do dia, nem prever ou controlar outros fatores como ocupação, energia consumida em funcionamento, efeitos elétricos, etc. No entanto é previsível que se possa reduzir até 80% o consumo de energia elétrica anual derivado da iluminação.

Neste cálculo o efeito dos arrancadores não foi considerado, uma vez que o consumo energético deste componente só acontece no momento inicial do arranque das lâmpadas tubulares, e além disso apenas as lâmpadas dos escritórios fazem arranque uma vez por dia. Existe ainda uma maior incerteza na obtenção da Tabela 13 derivado da potência de funcionamento dos transformadores, na medida em que não foi possível medir o consumo instantâneo de todos os transformadores em funcionamento antes de removidos do sistema, e assim foi utilizado um valor aproximado, determinado experimentalmente com alguns exemplos de transformadores (Anexo F).

5.3.2 Poupança económica esperada

Para estimar a poupança económica, cada unidade de energia poupada pela aplicação da MRCE será valorizada conforme o custo de compra ao fornecedor de energia. Como a faturação da eletricidade é feita em quatro períodos do dia diferentes (Tabela 14) foi necessário calcular duas médias ponderadas que permitissem determinar uma tarifa média de poupança diária e periódica, coincidindo com o horário de funcionamento dos escritórios. O custo de compra de energia elétrica à RESP para cada período de faturação, Tabela 15, é fornecido pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE).

Tabela 14 – Ciclo diário para fornecimento elétrico em BTE e BTN em Portugal Continental em 2015 [27].

Ciclo diário para BTE e BTN em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Ponta:	09.00/10.30 h	Ponta:	10.30/13.00 h
	18.00/30.30 h		19.30/21.00 h
Cheias:	08.00/09.00 h	Cheias:	08.00/10.30 h
	10.30/18.00 h		13.00/19.30 h
	20.30/22.00 h		21.00/22.00 h
Vazio normal:	06.00/08.00 h	Vazio normal:	06.00/08.00 h
	22.00/02.00 h		22.00/02.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

Segundo a ERSE e de acordo com a tarifa contratada pelo hotel em 2014 e 2015, os custos de aquisição de energia elétrica nos períodos a cima mencionados podem ser observados na tabela seguinte:

Tabela 15 – Custo de compra de eletricidade à RESP.

Período de consumo	Tarifa (€/kWh)
Super Vazio	0,0574
Vazio	0,0578
Cheia	0,0735
Ponta	0,0770

A Tabela 14 apresenta o horário de faturação para o período de hora legal de verão e de inverno, sendo que o período de hora legal de verão vai desde o último domingo do mês de março até ao último domingo do mês de outubro, e o restante período corresponde ao horário legal de inverno. Na medida em que foram considerados diferentes períodos de funcionamento da iluminação, foi crucial calcular a tarifa média ponderada para esses períodos.

Tabela 16 – Tarifa de Poupança média em diária no período de funcionamento de 24 horas.

Período de consumo	Ponderação (%)	Tarifa (€/kWh)	Tarifa média (€/kWh)
Super Vazio	16,7	0,0574	0,0675
Vazio	25	0,0578	
Cheia	41,6	0,0735	
Ponta	16,7	0,0770	

Na ponderação das tarifas considerou-se a razão entre o número de horas em cada período de consumo e as 24 horas diárias, assumindo um consumo constante ao longo do dia. A tarifa média ponderada na Tabela 16 será aplicada para estimar a poupança consequente da aplicação da MRCE que tem vindo a ser estudada ao longo deste capítulo. Esta tarifa será aplicada à energia total consumida ao longo do ano, antes e depois da intervenção, nos quartos, nos *halls* de elevador e na garagem. Para o quarto também foi considerada a tarifa calculada na Tabela 16 uma vez que o consumo de energia neste espaço pode-se dar em várias alturas do dia, sendo um parâmetro difícil de estimar. A tarifa média a aplicar nos escritórios será ponderada de acordo com as 10 horas de funcionamento da iluminação, das 9h às 19h, Tabela 17.

Tabela 17 – Tarifa de Poupança média diária no período de funcionamento dos escritórios.

Período de consumo	Ponderação (%)	Tarifa (€/kWh)	Tarifa média (€/kWh)
Ponta	25	0,0770	0,0744
Cheia	75	0,0735	

O valor obtido para este período é mais elevado que o anterior, uma vez que durante as 10 horas laborais do escritório só existe consumo em hora de ponta e em cheia.

Tabela 18 – Estimativa dos custos de utilização.

	Antes de intervenção		Após intervenção	
	Consumo (kWh)	Custo (€)	Consumo (kWh)	Custo (€)
Quartos	28437	1920	4179	282
Halls	19316	1304	3311	223
Garagem	8121	548	3469	234
Escritórios	1521	113	608	45

Com a aplicação direta da equação (20), foram obtidos os custos de operação da iluminação, antes e depois das áreas de estudo serem intervencionadas.

Tabela 19 – Poupança económica anual.

	Antes	Depois
Custo Anual (€)	3885	785
Poupança Anual (€)	3100	

Com a aplicação de iluminação energeticamente mais eficiente pode-se observar uma redução do consumo energético significativa, que se reflete numa poupança económica. A redução da potência para iluminação pode provocar uma redução anual de cerca de 3000 € na fatura da eletricidade. É de salientar que este valor pode oscilar mediante as condições do hotel, como ocupação, utilização maior ou menor da iluminação, entre outras, mas que não se enquadram diretamente com o interesse do estudo nesta dissertação.

5.3.3 Período de retorno simples do investimento

- Para determinar a viabilidade económica da medida de eficiência energética implementada é necessário calcular o *Payback time*²¹ do sistema. Esse período de retorno do sistema é dado pela razão entre o custo total de investimento, incluindo os custos com todos os constituintes e instalação do mesmo, e a produção/poupança anual derivada do sistema. Este valor será obtido de acordo com *método de cálculo de período de retorno para medidas de eficiência energética* exposto no Anexo XIII do Decreto-Lei 79/2006 [28] de 4 de abril, em que lhe é atribuído o nome de Período de Retorno Simples (PRS), equação (21):

$$PRS = \frac{C_i}{P_1} \quad (21)$$

²¹ *Payback time* representa o tempo de retorno do investimento inicial no sistema através da sua utilização.

Em que,

C_i corresponde ao custo inicial do investimento, em €, estimado aquando a construção do sistema, de acordo com o melhor orçamento técnico ao dispor do projetista;

P_i é a poupança anual resultante da aplicação da MRCE, estimada com base em simulações anuais, detalhadas ou simplificadas do funcionamento do edifício.

Este método de cálculo do período de retorno do investimento avalia a situação a custos constantes e iguais aos do momento do investimento e não considera efeitos de inflação nem de taxas de juros, dado a incerteza da previsão dos parâmetros financeiros. Segundo [28] o cálculo deste valor é crucial para a escolha dos sistemas, uma vez que perante soluções energeticamente mais eficientes, a sua análise pode ser feita através da aplicação deste modelo, por forma a identificar o sistema mais vantajoso em termos económicos.

O hotel contratou os serviços da empresa *Blastingfm*, sendo necessário um investimento inicial de 5238 € para completar toda a intervenção. Este valor engloba os custos com a mão-de-obra, transporte e material utilizado na substituição. Assim sendo pela aplicação da Equação (21), obteve-se um período de retorno de investimento, na ordem dos 1,7 anos, ou seja, cerca de um ano e nove meses. O período calculado é muito inferior a 3 anos o que mostra a elevada eficiência da tecnologia LED, como se referem os programas e normas.

5.4 Avaliação complementar

Durante a intervenção identificaram-se alguns problemas relacionados com o aquecimento excessivo da lâmpada e dos constituintes elétricos do circuito, como se pode verificar na Figura 14. O sobreaquecimento dos fios de ligação é consequência direta da energia térmica desperdiçada pelo sistema de iluminação de halogéneo, uma vez que nem toda a energia consumida é utilizada para iluminação, sendo assim uma evidência da elevada ineficiência deste tipo de tecnologia.

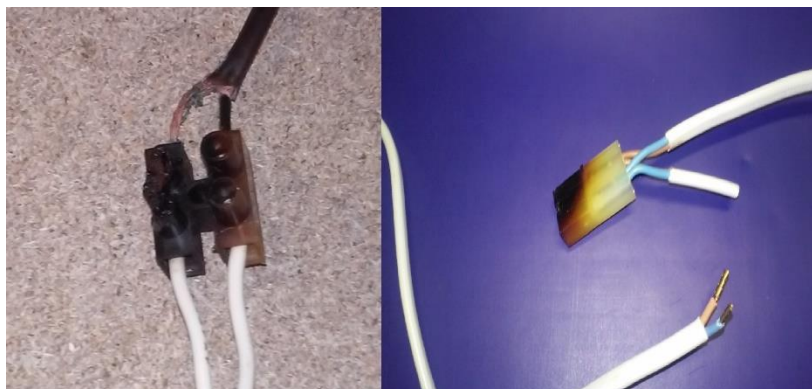


Figura 14 – Exemplo de problemas provocados pelo sobreaquecimento.

Problemas como estes podem ser evitados com a utilização de iluminação LED, uma vez que esta tecnologia opera a temperaturas mais baixas do que as lâmpadas de halogéneo, na ordem dos 50°C, enquanto as segundas podem atingir temperaturas de operação na ordem dos 200°C [29].

Capítulo 6 – Aplicação de Película de Sombreamento nos vãos envidraçados

De acordo com [6] e do PNAEE 2016, o programa *Renove Casa e Escritório* visa integrar um conjunto de medidas destinadas a potenciar a eficiência energética na iluminação, eletrodomésticos e reabilitação de espaços. No âmbito deste programa procedeu-se à renovação da iluminação e ainda à aplicação dum filtro solar nos vãos envidraçados. Além da aplicação das medidas propostas nestes programas é igualmente importante perceber as vantagens económicas e poupança energética, consequente da aplicação ou renovação por uma tecnologia mais eficiente energeticamente, para que se reconheça também os prazos de retorno financeiro alegado pelos fabricantes. Nesta secção foi estudada a aplicação dum filtro solar para os vãos envidraçados do ponto de vista teórico procurando-se estimar a poupança energética e a consequente redução na fatura da eletricidade.

A partir do certificado energético do hotel foi possível obter informação sobre o caudal de renovação de ar novo dos vários espaços, o desempenho do ar condicionado, coeficientes de transmissão térmica das superfícies opacas e as propriedades físicas dos vãos envidraçados. Posteriormente recorreu-se ao método de cálculo horário simplificado, abordado na secção 3.2.1, para determinar as necessidades de energia térmica para aquecimento e arrefecimento (Necessidades de climatização, N_c) de um quarto típico, extrapolando os resultados para os dez quartos expostos às mesmas condições que o quarto *tipo*.

6.1 Características do espaço

O quarto possui uma área útil de pavimento de 19,4 m², em que 4,6 m² corresponde à área da casa de banho, 2,6 m² uma pequena entrada e a restante área, 12,2 m², corresponde ao espaço de permanência. O quarto foi tratado como uma zona térmica com um único elemento com trocas de calor para o exterior do edifício composto pelo vão envidraçado e parede opaca. A parede exterior é um elemento opaco, com área (A_{op}) de 1,81 m² e com coeficiente de transmissão térmica (U) de 0,81 W/m²K. O vão envidraçado tem uma área (A_w) de aproximadamente 9,04 m² e um coeficiente U de 1,6 W/m²K. As paredes internas do quarto são consideradas elementos adiabáticos, pelo que consideram desprezáveis as trocas de calor com as outras divisões do edifício.

- Foi necessário determinar o coeficiente de transferência térmica ($H_{tr,elem}$), dos elementos opacos e dos vidros da janela, através da equação (22):

$$H_{tr,elem} = U_{elem} \times A_{elem} \quad (22)$$

Em que,

$H_{tr,elem}$ é o coeficiente de transferência térmica do elemento, em W/K;

U_{elem} é o coeficiente de transmissão térmica do elemento, em W/m²K;

A_{elem} é a área do elemento, em m².

Foram obtidos os valores de $H_{tr,op}$ e de $H_{tr,w}$, 1,46 W/K e 14,47 W/K, respetivamente, pela aplicação da equação (22).

Tabela 20 – Características dos elementos da fachada exterior.

	$A \text{ (m}^2\text{)}$	$U \text{ (W/m}^2\text{K)}$	$H \text{ (W/K)}$
Vão envidraçado	9,04	1,60	14,47
Parede	1,81	0,81	1,46

Estes valores foram utilizados na aplicação do método de cálculo horário simplificado a fim de se obter as necessidades de climatização diárias, mensais e/ou anuais.

6.1.1 Ganhos internos

As fontes de calor internas podem ter um peso relevante no balanço de energia do espaço, pelo que foram consideradas como fontes de calor internas a iluminação e a geração metabólica de calor dos ocupantes. Visto que a ocupação dos quartos do hotel não é constante ao longo do ano, considerou-se um valor por excesso, para que a análise seja feita em condições máximas de ocupação, assumindo que em todos os dez quartos estudados existe permanência de duas pessoas no interior do espaço.

Tabela 21 – Ganhos internos sensíveis dos ocupantes.

Geração de calor metabólica (W/m²)	Ocupantes	Área por ocupante (m²/ocupante)	Q_{is} (W)
45	2	1,8	162

O valor, em W/m², de calor sensível libertado pelos ocupantes foi extraído da Tabela 4 do capítulo 9 de [30], em atividade reduzida, mais propriamente sentado ou deitado em repouso num quarto. Assim sendo, por ocupante, estima-se que uma carga de 81 W de calor sensível (Q_{is}).

Tabela 22 – Ganhos internos sensíveis da iluminação.

	$P_{instalada}$ (W)	Q_{is} (W)
Iluminação	36	36

Neste caso foi considerado o valor da potência LED instalada para iluminação do quarto, após intervenção feita e exposta no Capítulo 5. Assim sendo, a potência de iluminação, composta por 6 lâmpadas LED, com 6W cada uma, perfaz um total 36 W.

Tabela 23 – Ganhos internos sensíveis totais.

$Q_{is,tot}$ (W)
198

6.1.2 Qualificação da classe de Inércia Térmica interior

A determinação da classe de inércia térmica do edifício deve ser realizada através do cálculo apresentado no capítulo 6 de [19], com base nos valores de massa superficial das soluções e revestimentos adotados para o edifício. Em alternativa ao método indicado anteriormente, de forma a simplificar a determinação da inércia térmica do espaço em estudo, considerou-se a

Tabela 03 do capítulo 2.2 presente em [31], sobre as *Regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como a existentes*.

O simulador térmico, para efeitos de cálculo, considera a inércia térmica do edifício, com valor compreendido entre 1 e 5, sendo 1 inércia térmica “muito leve”, 3 “média” e 5 “muito forte”. Portanto, para o espaço em estudo a inércia térmica considerou-se uma classe média (3), uma vez que este apresenta as soluções que se enquadram com os requisitos expostos na Tabela 03 de Despacho n.º 15793-I/2013 [31]. Apesar de ter teto falso e pavimento flutuante em todas as divisões, as paredes interiores não são compostas por tabique ou gesso cartonado, portanto não se enquadra com as condições de um edifício de classe de inércia térmica interior “leve”. Por outro lado não pode ser considerada inércia térmica “forte” uma vez que o pavimento não é em botão armado, nem o teto de estuque ou reboco.

6.2 Cálculos térmicos

Para o método de cálculo horário simplificado, descrito na secção 3.2.1, foi utilizado um ficheiro *Excel*, previamente programado para efetuar o cálculo das necessidades de climatização. Este utiliza parâmetros como a temperatura externa e irradiância incidente nas fachadas ao longo do ano, os *set points* de temperatura e tempo em funcionamento dos sistemas de climatização, características do espaço, número de ocupantes, abertura solar das janelas e taxa de renovação de ar novo. Este método calcula essencialmente as necessidades térmicas com climatização para todas as horas do ano por forma a encontrar um equilíbrio térmico do espaço, sujeito aos ganhos internos e às trocas de calor com o exterior, compensando os défices ou excessos de energia térmica desenvolvidos.

6.2.1 Dados inseridos

Nesta secção são apresentados os parâmetros de entrada abordados em 6.1 necessários ao cálculo. A correta introdução da abertura solar é fundamental para uma simulação teórica aproximada do que acontece na realidade na zona térmica, uma vez que os ganhos solares são a fonte de calor com mais peso no balanço de energia total do espaço.

- De acordo com [18] a área efetiva coletora solar A_{sol} pode ser calculada a partir das seguintes equações:

$$A_{sol} = F_{sh} \times A_{gl} \times g_w \quad (23)$$

$$A_{sol} = A_{gl} \times g_{T,w} \quad (24)$$

Em que,

A_{sol} é a área efetiva de incidência radiativa solar de uma qualquer superfície, opaca ou translúcida, ou abertura solar, expressa em m²;

A_{gl} ou $[A_w \times (1 - F_F)]$ representa a área total do vidro, excluindo a caixilharia, expressa em m², com A_w a corresponder à área total da janela e F_F à razão entre a área de caixilho e a área total da janela;

F_{sh} é o fator de redução para mecanismos móveis de sombreamento;

g_w é o fator solar do vidro que é definido pela fração da radiação solar que atinge a superfície do vidro e que contribui para o aumento da temperatura no interior, incluindo ainda a parcela do calor absorvido pelos mesmos;

$g_{T,w}$ ou $(F_{sh} \times g_w)$ é o fator solar global de um vão envidraçado com proteções solares ativas.

Uma vez que não há informação sobre o fator solar dos vãos envidraçados aplicados no edifício, considerou-se que este teria um fator de 0,75, como indicado na tabela IV.4.1 do [32], para o vidro duplo incolor de espessura (4 a 8) mm e 5 mm. O cálculo de A_{sol} foi realizado através da equação (24) (Tabela 24).

Tabela 24 – Abertura solar dos vãos envidraçados sem película.

$A_{gl} \text{ (m}^2\text{)}$	$g_{T,w}$	$A_{sol} \text{ (m}^2\text{)}$
8,47	0,75	6,353

O valor tomado para fator de redução de sombreamento (F_{sh}) depende da matéria e da forma de sombreamento. Aquando da visita ao hotel verificou-se a existência de uma cortina grossa e opaca, do tipo *Blackout*, no entanto o seu efeito de sombreamento foi desprezado, uma vez que se considerou que a utilização da cortina não proporciona iluminação natural, pelo que não é expectável que seja utilizada com frequência no período diurno. Para além disso segundo a Tabela 13 de Despacho nº 15793-K/2013 [19], para um vão envidraçado composto por vidro duplo e com uma cortina opaca interior de cor média pode-se considerar um fator solar global ($g_{T,w}$) de 0,46. No entanto, para o caso em estudo, o valor de $g_{T,w}$ deverá ser superior a 0,46, uma vez que a cortina está afastada da janela, permitindo assim que a energia radiativa refletida pela mesma permaneça maioritariamente dentro do espaço térmico.

Tabela 25 – *Set points* de funcionamento do ar condicionado dos quartos.

Estado	$\theta_{set} \text{ (}^\circ\text{C)}$	
	Aquecimento	Arrefecimento
On	20	24
Off	0	100

Os *set points* (θ_{set}) de aquecimento e arrefecimento introduzidos são os valores de temperatura de funcionamento do sistema de climatização geral do hotel, que foram registados aquando a visita ao mesmo. Os valores da Tabela 25 representam o intervalo de temperatura interna do espaço em que os ventiloconvetores iniciam o seu funcionamento. Quando θ_i é inferior a 20°C o sistema de climatização inicia o processo de aquecimento e quando superior a 24°C executa o processo inverso.

Figura 15 – Valores de entrada para o ficheiro Excel de cálculo de método dinâmico horário simplificado (CSTB hourly proposal_with_shading).

Nesta secção pretende-se determinar as necessidades energéticas de climatização do quarto *tipo*, durante o ano, sujeito às condições de temperatura e irradiância fornecidas pelo *software* disponibilizado pelo *Laboratório Nacional de Energia e Geologia* (LNEG), *CLIMAS_SCE* versão 1.05. É nos fornecida uma base de dados relativa ao vento, temperatura, humidade e irradiância incidente num plano vertical com um metro quadrado de área orientado segundos os pontos cardeais e colaterais, referentes ao ano de 2014. Uma vez que que a única fachada exposta à radiação solar está orientada a 45° Sul, então considerou-se os valores de irradiância incidente por metro quadrado de um plano vertical orientado a sudoeste (I_{sw}) e de temperatura no local, ao longo das 8760 horas de 2014.

O ficheiro *CSTB hourly proposal with shading* permite estimar os valores da energia térmica para aquecimento e arrefecimento ($N_{c,t}$) a cada hora do ano, no entanto o principal objetivo do estudo é o de estimar a poupança monetária na fatura da eletricidade, e prever o tempo de retorno do investimento efetuado aquando a aplicação de uma película de sombreamento nos vão envidraçados. Para isso, considerou-se $N_{c,t}$ de todos os meses do ano para condições climáticas referentes ao ano de 2014.

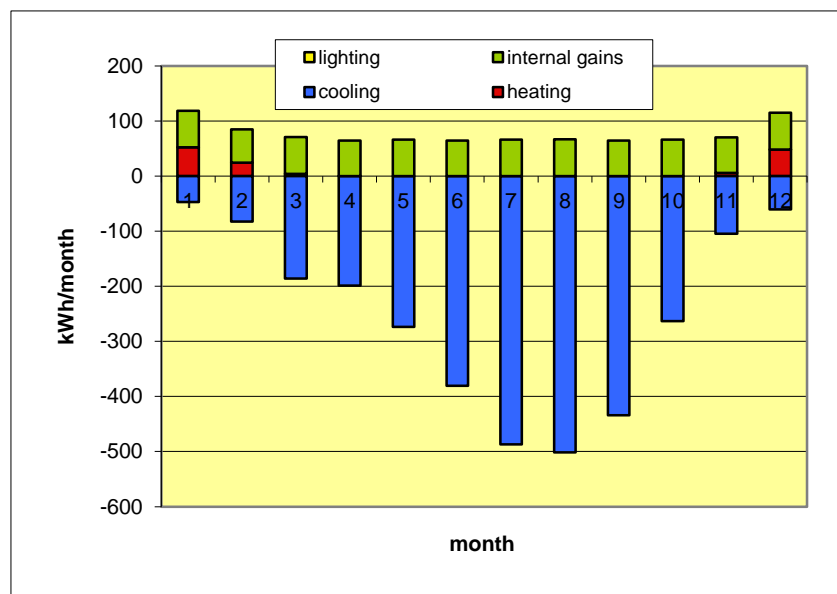


Figura 17 – Balanço de energia térmica para climatização do quarto *tipo* (kWh/mês).

Na Figura 17 a legenda a vermelho, *heating*, representa a quantidade de energia térmica Q_{heat} necessária de fornecer ao espaço mensalmente para que se mantenha uma temperatura média do espaço acima de 20°C. A azul, *cooling*, refere-se à energia térmica Q_{cool} necessária de ser retirada ao espaço para que seja possível manter uma temperatura média inferior a 24°C.

- A razão entre a energia elétrica utilizada por um mecanismo de climatização e a energia térmica despendida para aquecimento e arrefecimento é dada pelo coeficiente de performance do sistema, COP ou EER, dependendo da função de funcionamento [33].

$$COP = \frac{Q_{heat}}{W_e} \quad (25)$$

$$EER = \frac{Q_{cool}}{W_e} \quad (26)$$

Em que,

COP representa o coeficiente de performance de um sistema AVAC²² e indica a relação entre energia produzida e a energia consumida em modo aquecimento;

EER é o coeficiente de eficiência energética que indica a relação entre a energia produzida, em $W_{térmico}$, e a energia consumida, em $W_{elétrico}$, para produzir a temperatura programada em modo refrigeração;

Q_{heat} é a energia calorífica necessária para aquecer o espaço, em W_t ;

Q_{cool} é a energia calorífica necessária para arrefecer o espaço, em W_t ;

W_e a energia elétrica consumida, em W_h .

Segundo [33] o EER é calculado a partir da energia térmica. No entanto as $N_{c,t}$ determinadas na simulação térmica são obtidas em W_h . Foram previstos valores de Q_{heat} e Q_{cool} para todas as horas do ano e posteriormente foi feita a conversão da energia térmica para elétrica, necessária para climatizar o espaço, através da aplicação direta das equações (25) e (26). Somou-se a energia elétrica necessária mensalmente e foram obtidos os resultados da Tabela 26.

Tabela 26 – Energia elétrica necessária para climatização de um quarto *tipo*.

Mês	N_c (kWh _e)	
	Aquecimento	Arrefecimento
Janeiro	22,2	19,2
Fevereiro	10,5	33,7
Março	1,8	75,8
Abril	0,0	81,0
Maio	0,0	111,7
Junho	0,0	155,4
Julho	0,0	198,6
Agosto	0,0	204,7
Setembro	0,0	177,4
Outubro	0,0	107,4
Novembro	2,4	42,8
Dezembro	20,5	24,7
Total	57,4	1232,4

²² AVAC é o nome dado às funções desempenhadas por um sistema de climatização, aquecimento, ventilação e ar-condicionado.

Os valores tabelados mostram um consumo anual superior de energia elétrica para arrefecimento comparativamente ao aquecimento, uma vez que se verifica uma elevada penetração solar no quarto. É esperado que com a aplicação da película de sombreamento se verifique maior equilíbrio entre a eletricidade gasta para aquecimento e para arrefecimento uma vez que é expectável que se confirme uma temperatura interna mais constante e com menos picos máximos e mínimos ao longo do ano.

6.2.3 Custos com climatização

Nesta secção é feita a estimativa dos custos com a climatização, através da equação (20), considerando a previsão dos consumos de energia elétrica mensais e anuais apresentados na Tabela 26. À energia consumida em cada hora do ano é multiplicada a tarifa correspondente, de acordo com a altura do dia e a hora legal de compra de energia à rede, Tabela 14 e Tabela 15. É importante lembrar que foi considerado que o período de funcionamento do ar condicionado coincide com o tempo de ocupação estipulado, das 23 horas às 10h da manhã.

Tabela 27 – Custo com a climatização.

Mês	Custo por quarto (€)	
	Aquecimento	Arrefecimento
Janeiro	1,37	1,11
Fevereiro	0,64	1,95
Março	0,11	4,38
Abril	0	4,71
Maio	0	6,54
Junho	0	9,14
Julho	0	11,71
Agosto	0	12,05
Setembro	0	10,40
Outubro	0	6,26
Novembro	0,15	2,47
Dezembro	1,26	1,42
Total	3,53	72,14

Através do cálculo térmico e das considerações feitas foi obtida uma estimativa do valor, em €, gasto anualmente em cada quarto, para climatização em modo de bomba de calor e ar-condicionado. Anualmente e de acordo com as condições ambiente simuladas para 2014, cada quarto utiliza um total de 1290 kWh de energia elétrica, que corresponde a cerca de 75 €. Considerando que os dez quartos estão sujeitos às mesmas condições que o quarto *tipo* e que a simulação térmica seria realizada de igual forma para todos os quartos, então anualmente seriam necessários cerca de 750 € para cobrir os custos com a climatização destes espaços.

6.3 Redução do consumo energético anual

Nesta secção, com a mesma folha de cálculo térmico, foi determinada a redução do consumo de energia prevista com a aplicação da MRCE. Nesse sentido foi considerado o novo fator solar do vão envidraçado imposto pela película de sombreamento e determinado as necessidades de climatização para o quarto *tipo*.

6.3.1 Características técnicas da película

A película de sombreamento da marca *LLumar* do modelo RHE20 SI ER HPR foi a solução adotada para aplicação nos vão envidraçados, Anexo H. Esta é uma película de polímero híbrido com características refletoras, para aplicação externa, dando-se a maior reflexão de luz visível do lado do vidro com mais intensidade luminosa. A aplicação da película de sombreamento provoca uma redução do $g_{T,w}$ do vidro duplo de 0,75 para 0,13. Esta tem ainda a capacidade de reduzir a penetração de raios UV, possibilitando uma redução da degradação dos materiais no interior do edifício, expostos a radiação solar direta.

Um dos fatores relevantes para a seleção de uma película, como qualquer outro sistema de melhoria da eficiência energética, é o tempo de retorno de investimento e a garantia dada pelo fabricante. Esta película apresenta um período de 10 anos de garantia, válida contra descolagem, descasque, fissuras e alteração da cor. Segundo o fabricante é possível reaver o investimento ao fim de 3 anos, através da poupança energética que se poderá obter após a aplicação. O período de retorno do investimento será estudado na secção 6.4.1, enquanto no proximo, apenas se pretende prever a percentagem de energia térmica poupada com a aplicação deste filtro solar.

6.3.2 Poupança energética esperada

Como foi apresentado em 6.3.1 e de acordo com o fabricante, quando a película de sombreamento é corretamente aplicada num vão envidraçado composto por vidro duplo, o fator solar do vidro é alterado para valores inferiores. Portanto procedeu-se ao cálculo da nova área coletora efetiva solar dos vãos envidraçados, através da equação (24).

Tabela 28 – Abertura solar do vão envidraçado com película.

	$g_{T,w}$	$A_{sol} (m^2)$
Com Película	0,13	1,101

A área efetiva com película obtida através da equação (24), considerando o fator solar do vidro duplo dado pelo fabricante, foi introduzida invés do anterior no documento *Excel*. A substancial redução do $g_{T,w}$ leva a uma diminuição da área efetiva de penetração solar. O novo cálculo térmico permitiu encontrar um novo valor de N_c permitindo estimar a diferença de consumo.

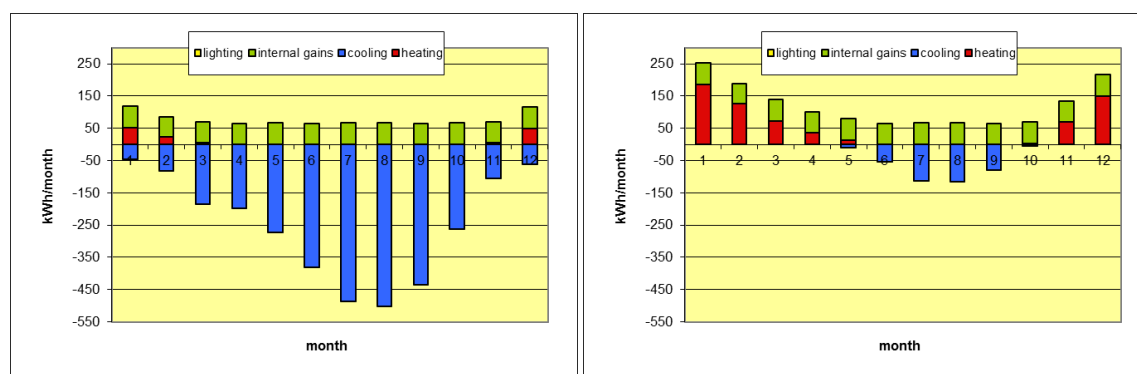


Figura 18 – Comparação da energia térmica necessária para climatização, com película (direita) e sem película (esquerda).

Constatou-se que com a aplicação do filtro solar o consumo de energia para arrefecimento reduziu substancialmente ao longo do ano, mas em contrapartida as necessidades de energia para aquecimento aumentaram em alguns meses. No entanto, no caso com película o mês com maior consumo de energia térmica é janeiro, com aproximadamente 180 kWh, enquanto que antes da aplicação do filtro verificava-se uma necessidade máxima de energia substancialmente mais elevada, 500 kWh de energia calorífica para arrefecimento, verificada no mês de agosto.

Tabela 29 – Poupança energética anual para climatização por quarto.

	N_c (kWh _e)	
	Sem película	Com película
Aquecimento	57,4	279,2
Arrefecimento	1232,4	153,4
Total	1289,8	432,6

A Tabela 29 apresenta os valores da energia elétrica necessária para que se atinja a temperatura de conforto do espaço, 20°C no inverno e 24°C no verão. É de salientar que a influência da película nos ganhos solares do quarto permite reduzir para um terço a energia elétrica consumida anualmente em climatização, correspondendo a uma poupança na ordem dos 852 kWh. Uma vez que o cálculo térmico pode ser extrapolado a todos os dez quartos estudados, prevê-se que seja possível poupar anualmente 8520 kWh em energia elétrica para climatização.

6.4 Avaliação económica

Aplicou-se as condições descritas na secção 5.3.2, acerca do período de faturação da eletricidade em regime de BTE, na simulação térmica com a nova abertura solar e estimou-se o valor, em €, da energia elétrica consumida pelo sistema de climatização em função de aquecimento ou arrefecimento, nas condições anuais, para o quarto *tipo*.

Tabela 30 – Previsão dos custos de consumo de energia elétrica anuais por quarto.

	Custo (€)	
	Sem película	Com película
Aquecimento	3,52	16,97
Arrefecimento	72,14	8,98
Total	75,66	25,95

Equivale a uma poupança anual de cerca de 50 € por quarto, dessa forma para os todos os quartos intervencionados espera-se uma poupança anual na ordem dos 500€.

6.4.1 Período de retorno do investimento

Para determinar o período de retorno de investimento da medida implementada nesta secção aplicou-se a equação (21) apresentada na secção 5.3.3, considerando o valor de compra dos serviços prestados por uma determinada empresa. Foram gastos inicialmente 1950€ para cobrir as despesas com o transporte e aplicação da película com uma área aproximada de 100 m², e ainda para outros constituintes necessários para uma aplicação e funcionamento eficaz do sistema de sombreamento. Na sequência da simulação térmica do edifício antes e depois da intervenção, obteve-se uma diferença no consumo de energia elétrica ao final do ano, na ordem

dos 8520 kWh, que se refletiria numa poupança de cerca de 500 € ao ano. O período de retorno simples é cerca de 4 anos.

Capítulo 7 – Dimensionamento do sistema fotovoltaico para autoconsumo

Durante a visita ao hotel constatou-se um elevado, mas constante, consumo de energia elétrica ao longo do dia, como geralmente acontece em estabelecimentos comerciais, de serviços e industriais. Neste tipo de edifícios o consumo de energia elétrica acontece maioritariamente em períodos de maior disponibilidade de recurso solar, o que permite não só proceder diretamente ao abastecimento de um *baseline* de consumo energético pré-estabelecido, mas também diminuir a potência de ponta absorvida pelas cargas através da introdução de uma unidade de produção de eletricidade.

7.1 Autoconsumo ou Autoconsumo com excesso de produção

Antes de se efetuar o dimensionamento de potência do sistema fotovoltaico a instalar, é necessário estabelecer o objetivo da produção elétrica estabelecendo se a energia produzida na instalação deverá destinar-se apenas ao autoconsumo ou se se pretende que o excesso de produção de eletricidade seja vendido à rede elétrica. De acordo com [10] o preço de venda do excedente à rede é remunerado em conformidade com o preço de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE). O produtor é remunerado em 90% da tarifa pela energia elétrica que produz em excesso, não consumida no local da instalação e entregue à RESP. A tarifa de remuneração é inferior à tarifa definida contratualmente pela ERSE para edifícios com potência contratada de 153 kVA, em condições de fornecimento energético em baixa tensão especial. De uma forma geral, as condições atuais de remuneração não tornam economicamente vantajoso uma instalação em que haja excesso de produção.

De forma a exemplificar estas condições o Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia emitiu um documento em formato digital em que procura esclarecer o novo regime de produção distribuída. Nesta exposição pública o Ministério apresenta exemplos ilustrativos para diferentes perfis de produção e consumo (Figura 19).

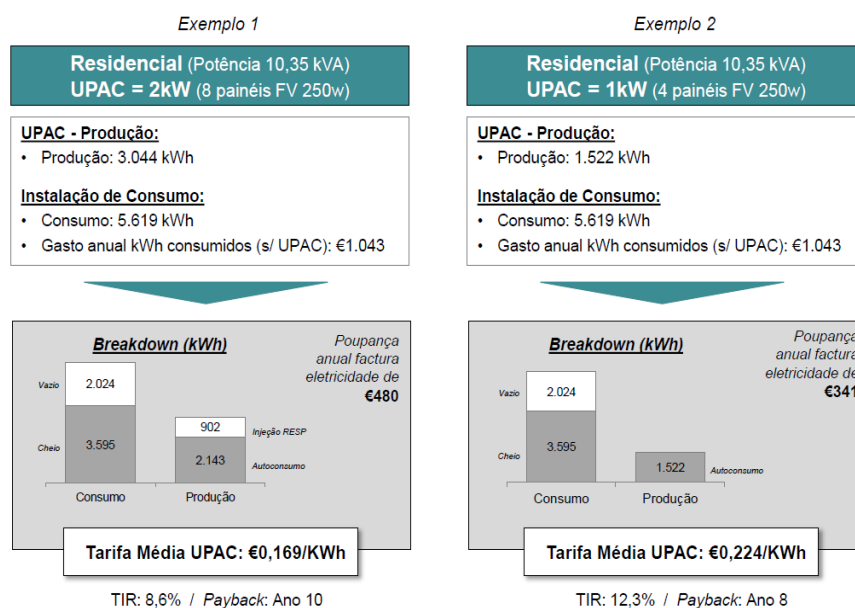


Figura 19 – Exemplo comparativo entre duas UPAC [11].

No exemplo assumiu-se que as habitações dos dois exemplos são iguais, dado que o consumo energético anual da habitação e o gasto anual em eletricidade (sem UPAC) em ambos os casos é o mesmo, 5619 kWh e 1043 €, respetivamente. O que vai variar entre os dois exemplos é apenas a potência da UPAC instalada. No primeiro exemplo, com potência instalada de 2000 W e um investimento de 5144 €, a unidade de produção é capaz de gerar anualmente 3044 kWh, sendo que apenas 902 kWh são entregues para venda à rede elétrica. Este exemplo permite ao produtor uma poupança anual de 480 €, permitindo reaver o investimento ao fim de aproximadamente 10 anos, em que permite ao proprietário da UPAC evitar um gasto médio de 0,169 € por kWh consumido.

No entanto, o facto de existir mais produção de energia elétrica do que aquela que é autoconsumida no local, compromete o tempo de retorno do investimento, uma vez que esse excedente energético será vendido a um preço substancialmente menor que o valor de tarifa de compra à RESP. A *Tarifa Média UPAC* representada na Figura 19 refere-se ao valor monetário, em €, dado a uma unidade de energia elétrica produzida (1 kWh) pelo sistema PV. Os dados fornecidos pelo OMIE revelam que o preço médio de 1 kWh para cada mês do ano de 2014 ronda os 0,042 €/kWh, valor inferior ao da tarifa bi-horária escolhida para o estudo do exemplo da Figura 19.

No segundo exemplo (direita), utilizando a mesma habitação, com perfis de consumo iguais e metade da potência fotovoltaica instalada do que no exemplo anterior, seria necessário um investimento inicial de 2575 €. Nessas condições a produção anual diminui para 1522 kWh, sendo que toda a energia é consumida no local da unidade de produção. É assim permitido ao produtor reduzir 341 € na faturação anual de eletricidade, bem como recuperar o investimento num prazo de 8 anos, a contar do início de funcionamento da UPAC.

Pela breve exposição feita na Figura 19 pode-se concluir que se torna financeiramente vantajoso para o produtor instalar um sistema de menor potência, uma vez que nessa condição a *Tarifa Média UPAC* é superior e ainda possibilita um tempo de retorno de investimento inferior, como está descrito no exemplo 2.

Tendo em conta que o objetivo deste estudo é a otimização energética do hotel e tomando como base a comparação anterior, criou-se então a necessidade de dimensionar por defeito a instalação de uma unidade de produção para autoconsumo fotovoltaico. Para tal foi necessário recolher dados que permitam determinar um *baseline* do consumo de energia elétrica.

7.2 Características técnicas e físicas do sistema PV

O dimensionamento de um sistema PV deve considerar o período anual com menos disponibilidade de radiação solar. Como a radiação disponível para aproveitamento solar depende do local,

efetuou-se um teste disponibilizado pela Comissão Europeia, o *Photovoltaic Geographical Information System*, Tabela 31. Como pode ser observado na mesma Tabela 31, os meses com menor radiação disponível para aproveitamento PV, na localização específica do hotel, são novembro, dezembro e janeiro.

Esta simulação permite apenas apurar o potencial de produção de energia na localização específica, criando uma estimativa da energia solar produzida por unidade de área durante os meses de um ano típico. Para tal, adotou-se um sistema com características semelhantes às que serão utilizadas posteriormente no dimensionamento, como é o caso da orientação e do ângulo de inclinação ótimo de 49°²³, sendo que este é o valor sugerido pelo PVGIS. A escolha do ângulo de inclinação dos módulos PV pretende maximizar a irradiância solar incidente no sistema nos meses de inverno e criar um equilíbrio de produção mensal. Este valor é determinado a partir da latitude do local aproximadamente 39°, e com o aumento de inclinação dos painéis em 10°,

²³ Ângulo de inclinação dos módulos em relação a um plano horizontal.

para que, com a variação anual de declinação solar, seja possível otimizar a produção de energia por parte do sistema para o período de inverno.

Tabela 31 – Simulação de produção solar para inclinação ótima (49°) e para orientação a sul (0°) [34].

	E_d (kWh/dia)	E_m (kWh/mês)	I_d (kWh/dia.m ²)	I_{med} (kWh/mês.m ²)
Janeiro	3,10	96	3,91	121
Fevereiro	3,84	108	4,89	137
Março	4,74	147	6,18	195
Abril	4,85	145	6,36	191
Mai	5,03	156	6,70	208
Junho	5,35	161	7,24	217
Julho	5,48	170	7,49	232
Agosto	5,28	164	7,29	226
Setembro	4,72	142	6,40	192
Outubro	4,16	129	5,56	172
Novembro	3,17	95	4,12	123
Dezembro	2,94	91	3,76	116
Total Anual	—	1604	—	2130

A variável E_d representa a produção média diária de eletricidade dum sistema PV, E_m a produção média mensal de energia elétrica, I_d , ou como referido anteriormente na equação (17), $I_{diárias}$, resulta do somatório da irradiância global média diária incidente num metro quadrado de painel fotovoltaico do sistema, em kWh/m², e I_{med} o somatório da irradiância global média mensal recebida por metro quadrado, kWh/m². Os valores apresentados são referentes a uma simulação de um sistema PV em que a potência nominal é 1,0 kW, utiliza células de silício cristalino, e considera uma estimativa de perdas devido à temperatura e baixa irradiância²⁴ de 9,9%, 2,5% devido a efeitos de ângulo de reflexão, 14,0% relacionado com outras perdas do sistema, por exemplo, cabos, inversor, etc. e ainda 24,5% devido ao funcionamento de todo o sistema fotovoltaico.

²⁴ São derivadas das oscilações temporárias de temperatura e irradiância incidente características de cada local.

Tabela 32 – Irradiância local, em Wh/m²dia, inclinação ótima (49°) e igual à latitude no local (39°) [34].

Mês	I_m (49°) [Wh/m ² dia]	I_m (39°) [Wh/m ² dia]
Janeiro	4310	4090
Fevereiro	5440	5280
Março	6300	6330
Abril	6240	6530
Maio	6230	6750
Junho	6240	6910
Julho	6530	7190
Agosto	6870	7310
Setembro	6790	6910
Outubro	5890	5780
Novembro	4810	4580
Dezembro	4100	3860
Média anual	5812	5960

A variável I_m representa a irradiância média diária incidente num metro quadrado plano, com uma determinada inclinação. Analisando os dados da Tabela 32 conclui-se que a correção na inclinação de 10° do ângulo igual à latitude para os módulos irá diminuir a irradiância média mensal, no entanto verifica-se um maior equilíbrio mensal e um aumento significativo da irradiância média mensal nos meses de inverno (outubro a março). Esse equilíbrio mensal vai ao encontro do objetivo deste sistema, através das condições de radiação constantes ao longo do ano, melhorar o desempenho energético do sistema.

7.2.1 Coletores solares

O modelo de coletores solares fotovoltaicos adotado é aquele que melhor se enquadra às necessidades do sistema e foi escolhido de forma imparcial para que se possa estudar apenas o comportamento do sistema e não entrar em comparações entre os diferentes tipos de tecnologias e modelos. Optou-se portanto pela utilização dos módulos *Plus SW 285 mono*, de tecnologia de silício monocristalino, da marca *Solarworld*, com uma potência nominal de 285 Wp, com tensão nominal (V_{mpp}) de 31,3 V e corrente nominal (I_{mpp}) de 9,2 A – todas as características físicas do módulo PV encontram-se no Anexo I. A potência nominal do módulo é o valor da potência máxima a que o módulo pode operar, em condições padrão de teste (STC²⁵). Optou-se por um módulo com eficiência mais elevada em relação à área que ocupa, a fim de otimizar a área disponível.

7.2.2 Arranjo de coletores

O dimensionamento foi efetuado com a ajuda de um *software*, *PVsyst* v6.3.9, e assumiu-se o arranjo de coletores estabelecido pelo mesmo, uma vez que o próprio estabelece os parâmetros para uma otimização do funcionamento do sistema. A quantidade e a forma de ligação dos coletores vai depender da quantidade de unidades instaladas e área disponível, sendo esse o resultado da simulação realizada pelo *PVsyst* tal como a eficiência global máxima do sistema.

²⁵ *Standard Test Conditions*.

7.3 Cálculo potência pico do sistema PV

Para calcular a potência pico do sistema é necessário determinar o *baseline* de consumo da rede energética do hotel para se possa promover o autoconsumo da energia elétrica gerada, evitando a venda à RESP. Uma vez que os dados relativos à potência de carga do hotel são inexistentes, procedeu-se à leitura direta do consumo energético através do quadro elétrico do edifício, mais precisamente no posto de transformação central do hotel, no dia 16 de Outubro de 2015. No presente caso de estudo só teve interesse contabilizar a energia elétrica consumida entre o amanhecer e o ocaso, uma vez que é nesse intervalo temporal que se espera que haja produção de energia elétrica pelo sistema PV.

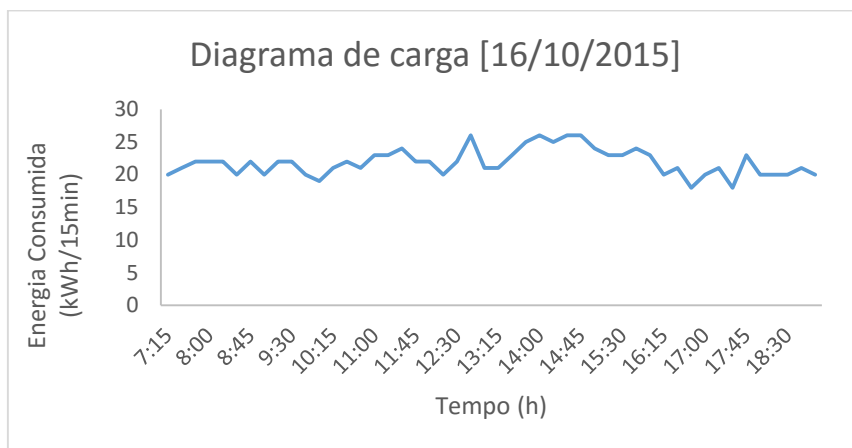


Figura 20 – Diagrama de carga do hotel.

A contagem teve início às 7h da manhã e foi realizada em intervalos de 15 minutos até às 19h15, em que foram registados os valores correspondentes ao acumulado de energia elétrica consumida pelo hotel em cada intervalo de tempo, Anexo J. Posteriormente subtraiu-se o valor da energia total consumida pelo hotel, em kWh, que foi registada em cada instante, pelo total acumulado do instante anterior, obtendo-se assim uma estimativa da energia despendida para alimentar as necessidades energéticas do hotel, a cada 15 minutos ao longo do dia. É de notar que se registou um consumo energético praticamente constante ao longo do dia e considera-se que seja esse o perfil de consumo ao longo do ano, uma vez que os picos de consumo (máximos ou mínimos) acontecem sempre à mesma hora do dia, coincidindo com o horário de funcionamento do sistema de climatização e da unidade de tratamento de ar (UTA) e de outros sistemas de elevado consumo energético.

Como já foi referido neste capítulo, o interesse do produtor e do projetista é que não haja excesso de produção fotovoltaico, pelo que a potência pico da instalação não pode ser superior à potência de carga mínima registada durante o dia. Identificou-se esse valor para o mês de outubro, correspondente a 18 kWh/15 min (72 kW), às 16h45 e às 17h30, Figura 20.

Uma vez que não foi possível fazer a mesma contagem num dia de janeiro ou de agosto, os dados apresentados graficamente serviram como amostra de referência para extrapolar²⁶ os valores de potência de carga esperados para os meses de inverno e de verão. Assumiu-se que durante o ano, independentemente da estação, os sistemas de climatização, funcionamento da UTA, preparação de águas quentes sanitárias (AQS) e outros equipamentos elétricos do hotel operam à mesma hora e durante o mesmo intervalo de tempo. Assim sendo a extrapolação dos

²⁶ Método que permite estimar valores de uma função num ponto desconhecido, dentro do universo em estudo, a partir de valores amostrais.

valores desconhecidos pode ser feita através da proporcionalidade direta entre a energia diária consumida e a potência de carga mínima verificada ao longo do dia.

Tabela 33 – Relação entre energia consumida diariamente e a mínima consumida por período de 15 minutos para os meses de referência.

	2015	2014	
	Outubro	Janeiro	Agosto
Energia diária consumida (kWh/dia)	1646	1145	1710
Energia mínima consumido (kWh/15 min)	18,0	12,5	18,7
Potência mínima kW	72,0	50,0	74,8

Quando em 16 de outubro de 2015 foi registado o consumo energético total desse dia, já se encontravam em vigor as medidas de redução de consumo de energia propostas anteriormente, a substituição da iluminação e aplicação de película de sombreamento nos vãos envidraçados. Para que a extrapolação do consumo mínimo de energia tivesse o menor erro associado possível, seria necessário estimar os valores do consumo energético diário referentes a 2014 supondo que as intervenções tivessem sido realizadas antes do início de 2014. Esta estimativa não foi realizada porque não há garantia que a poupança do consumo de energia com os LEDs seja realizada durante o intervalo de tempo do diagrama de carga. E ainda, tendo em conta que a película de sombreamento tem efeito sobre o consumo de ar condicionado e este supostamente funciona entre as 23h e as 10h da manhã, não vai ter um efeito significativo no consumo de energia durante o período escolhido para o diagrama de carga.

Com a análise da Tabela 33 podemos especular o valor máximo possível de ser aplicado na potência pico do sistema. Se a energia média consumida em 15 minutos 12,5 kWh no dia de menor consumo de energia do mês de janeiro e 18,7 kWh no mês de agosto, então para uma hora irá corresponder a 50 kWh e 74,8 kWh, respetivamente. Estes valores foram os adotados para a P_{pico} do sistema subdimensionado para o verão e inverno, no sentido de uma valorização superior da energia elétrica produzida pelo sistema PV, evitando que haja excesso de produção. A fim de conferir a viabilidade do projeto para instalação PV em autoconsumo optou-se por fazer o estudo económico da unidade de produção.

7.4 Metodologia I

A primeira metodologia considerada apenas o dimensionamento para o inverno (P_{pico} menor ou igual a 50 kW_p) pois no relatório de verão (P_{pico} menor ou igual a 75 kW_p) poderia existir excesso de produção nalgumas horas do mês com menor consumo de energia, janeiro, Anexo K. Como já foi visto anteriormente na secção 7.1 o excesso de produção pode reduzir o valor económico do sistema então só foi tido em conta o relatório do fornecido pelo PVsyst do dimensionamento para o mês de janeiro. É de salientar que esta metodologia não tem em conta fatores como a área disponível para instalação PV, uma vez que a estrutura do hotel não permite a instalação da área correspondente à potência pico desejada.

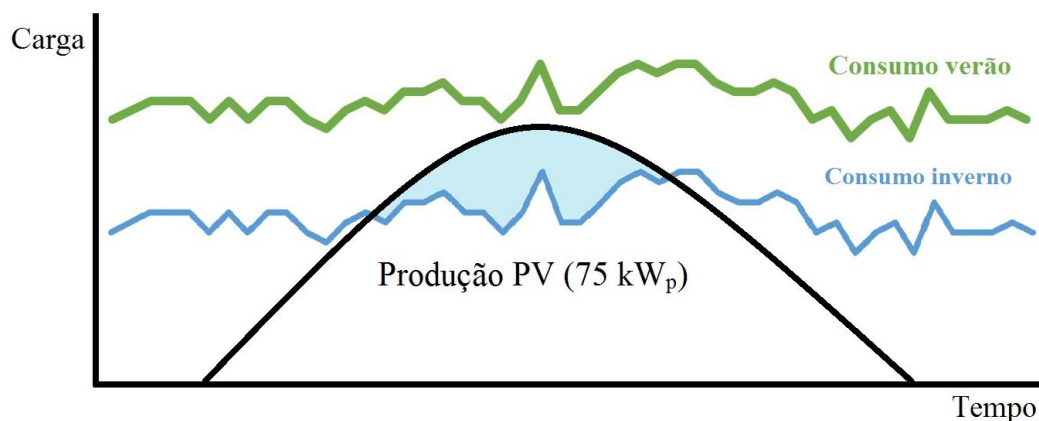


Figura 21 – Exemplo de excesso de produção esperado dimensionamento PV para estação de verão.

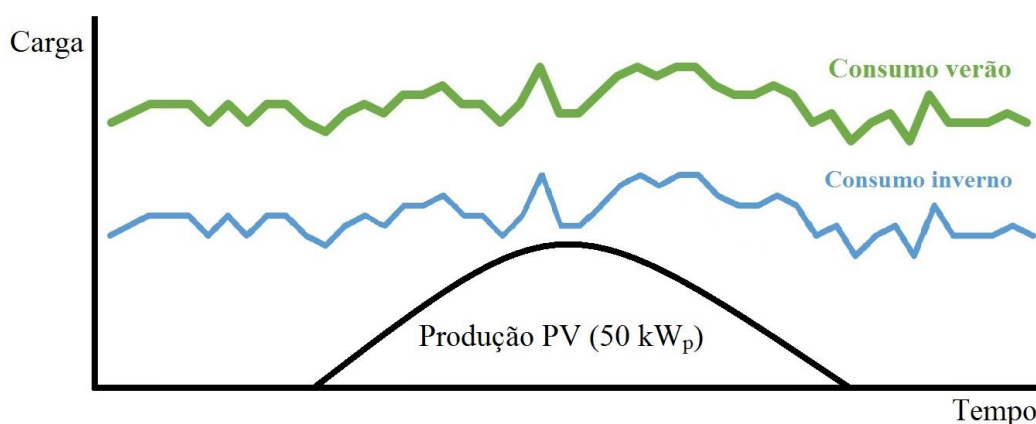


Figura 22 – Exemplo da produção esperada dimensionamento PV para a estação de inverno.

7.4.1 Sistema PV

Os valores simulados no *PVsyst* 6.3.9 recorrem a uma base de dados solar diferentes da do *PVGIS*, menos atual, mas com irradiância média mensal, I_m , idêntica à que foi apurada pelo programa *PVGIS*. Foi feito um dimensionamento em função do inverno, considerando uma P_{pico} máxima do sistema calculada no subcapítulo 7.3, que ronda os 50 kW_p. Assim sendo o relatório disponibilizado pelo *PVsyst* indica que para alcançar essa potência seriam necessários 176 módulos fotovoltaicos considerados em 7.2.1, o que perfaz uma área total de 295 m². Em função da otimização do sistema, este deveria ser composto por 8 ligações em paralelo, cada ligação constituída por 22 módulos em série.

O sistema teria uma P_{nom} de 50,2 kW_p em condições STC, em que em condições de operação (50°C) a P_{op} irá baixar pra 44,8 kW_p. De acordo com o diagrama de perdas do sistema PV para autoconsumo ao longo do ano foi lhe conferida uma eficiência global de 15,09%, tendo a capacidade de produzir anualmente 84,6 MWh a partir do recurso solar disponibilizado pela base de dados (Anexo Q).

7.4.2 Componentes Físicos do Sistema

O dimensionamento requer atenção em mais variáveis para além daquelas que foram referidas e tratadas anteriormente, nomeadamente os componentes sólidos do sistema, como cabos, estruturas dos módulos, contador, etc. em que alguns deles dependem do modo de

utilização e da forma como estes estão interligados. Estes elementos representam uma grande percentagem do valor do investimento na aquisição, montagem e manutenção do sistema solar fotovoltaico, que é considerado como o parâmetro *Others* pelo *PVsyst*. Nesse sentido uma escolha apropriada dos componentes físicos leva a um aumento da eficiência global do sistema. Estes componentes são incluídos no valor do investimento inicial, considerado em 7.4.4, na avaliação económica do projeto. Segundo a *Blastingfm*, estes componentes tomam 20% do resultado da soma do custo inicial dos módulos PV, estruturas de suporte, inversor e do equipamento de telecontagem bidirecional.

Uma vez que o interesse do estudo é avaliar economicamente o sistema PV, a quantidade de cabos e de outras componentes necessárias à instalação não é relevante, mas sim o peso que estas têm no investimento inicial, que estão incluídos na percentagem assumida anteriormente. Como foi abordado em 3.3.2.4 a estrutura para os módulos a utilizar depende do local onde o sistema é instalado. Neste caso não havendo área de cobertura disponível para o dimensionamento realizado considera-se que este sistema poderia ser aplicado num terreno sem obstrução à radiação solar, adjacente ao edifício do hotel. Assim sendo foi considerado o valor da “estrutura metálica para placas” fornecidas por [35], em que esta têm a capacidade de suportar três módulos PV, sendo necessárias no mínimo 59 estruturas desse tipo para sustentar os 176 módulos PV.



Figura 23 – Diagrama representativo da forma de ligação de uma UPAC à rede [36].

A ligação entre os módulos PV, as cargas a alimentar e a RESP pode ser simplificada a partir do diagrama da Figura 23, em que são mostrados os principais e obrigatórios componentes de um sistema PV, de acordo com o Decreto-Lei 153/2014, para uma UPAC com P_{pico} instalada superior a 1,5 kW_p.

7.4.2.1 Inversores

De entre os inversores possíveis, foram escolhidos dois do modelo da SMA, o *Sunny Tripower* 20000 TL, Anexo L, de forma a adequar com a potência pico dos módulos PV, sendo que este dimensionamento foi otimizado pelo *PVsyst*. O referido modelo opera com uma tensão entre 580 e 800 V, com ponto de eficiência máxima em 600V, valor esse próximo do V_{mpp} de operação dos módulos PV. Os dois inversores selecionados perfazem uma potência nominal de 40 kW, que apesar de ser um valor inferior à P_{pico} dos módulos, foi esta a aproximação otimizada e disponibilizada pelo *software*. Esta função realizada pelo programa vai ao encontro do referido na *Box* 9.2 [26], que na maioria das vezes, os projetistas instalam inversores subdimensionados porque consideram a existência de perdas elétricas inevitáveis do sistema (poeiras, variação de temperatura, perdas com resistência ôhmicas etc.) entre os módulos e o inversor, então não se registará Potência máxima de operação dos módulos à entrada do inversor.

7.4.2.2 Contadores

A Figura 23 mostra a necessidade de se instalar dois contadores, um à saída do inversor, a fim de contabilizar toda a energia produzida pelos módulos em corrente alterna, e um entre a RESP e as cargas da habitação, sendo este bidirecional para que se possa contabilizar o excedente de energia produzida e/ou a energia consumida da RESP. Em ambos os casos foram considerados contadores monofásicos bidirecionais de telecontagem da marca CERM1, Anexo N, em que este está preparado para funcionar a 230 V e I_{max} de 60 A.

7.4.3 Poupança energética esperada

- Para determinar a tarifa média ponderada correspondente ao período de autoconsumo de energia no hotel, considerou-se que, em média, este aconteceria entre as 7h da manhã e as 7h da tarde, independentemente da estação do ano. Uma vez que não se verifica excesso de produção da UPAC dimensionada, o valor da energia produzida anualmente pode ser determinado a partir da equação (27).

$$Poupança = Tarifa\ média \times E_{ano} \quad (27)$$

Em que,

Poupança é o valor dado à energia produzida, em €;

Tarifa média é valor por unidade de energia produzida, em €/kWh;

E_{ano} é a quantidade de energia estimada, que o sistema PV consegue produzir ao longo do ano, em kWh.

Tabela 34 – Tarifa média ponderada para o período de produção da UPAC.

Período de consumo	Ponderação (%)	Tarifa (€/kWh)	Tarifa média (€/kWh)
Ponta	21	0,0770	0,0730
Cheia	71	0,0735	
Vazio	8	0,0578	

A energia anualmente auto-consumida de 84,6 MWh corresponde a uma poupança na ordem dos 6176 € de acordo com a equação (27). No entanto é necessário subtrair o valor de $C_{UPAC,m}$ de forma a obter o lucro/poupança real. Pela aplicação da equação (2) podemos obter o Custo mensal com a UPAC, considerando o $V_{CIEG,m}$ igual a 3,819 €/kWh fornecido no Quadro 4-

16 da [27] e que K_i toma o valor de 50% (quando a potência acumulada de UPAC instaladas excede 3% do total da potência instalada no SEN). Foi calculado o valor da compensação mensal, correspondendo a 95,5 € que o final do ano representa um total de 1145,7 €. Assim sendo se ao valor poupado pela energia autoconsumida for retirada a soma das compensações mensais, obtém-se uma poupança económica na ordem dos 5000 €.

7.4.4 Período de retorno simples de investimento

- Uma unidade de produção PV trata-se muitas vezes de um investimento avultado para o produtor. Como qualquer outro investimento é importante determinar o tempo de retorno do investimento. Segundo [26] pode-se estimar o *Simple Payback* do investimento numa UP através da razão entre o valor capital investido e o valor, em €, da energia produzida e autoconsumida, taxada segundo a tarifa contratada ao distribuidor de energia. Retorno simples do investimento num sistema de produção PV pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$PRS = \frac{C_{PV}}{P_{PV}} \quad (28)$$

Em que,

PRS é o período de retorno de investimento, em anos;

C_{PV} é o investimento inicial com o sistema, em €;

P_{PV} é o valor da energia elétrica evitada de ser comprada à RESP, em €/ano.

Tabela 35 – Custo dos principais componentes do sistema PV.

	Módulos	Inversores	Estruturas	Contador bi	Total
Unidades	176	2	59	2	–
Custo un. (€)	285	4090	126	240	–
Custo total (€)	50160 [37]	8180 [37]	7434 [35]	480[38]	66254

Ao total do custo para a aquisição do material referido na tabela a cima é necessário aplicar mais 20% desse valor a fim de apurar o custo total de instalação do sistema PV dimensionado. Dessa forma o investimento inicial (C_{PV}) seria na ordem dos 79500 €. No seguimento do orçamento dado, utilizando a equação (28) e o valor estimado para a Poupança anual com a UPAC ($P_{PV} = 5000$ €) foi estimado um período de retorno do investimento de 15,8 anos, mais precisamanete 15 anos e 10 meses.

7.4.5 Avaliação económica do sistema PV

- De acordo com [39] a avaliação económica de um sistema de produção de energia elétrica pode ser feita a partir do cálculo do custo unitário médio atualizado (C_a), equação (29):

$$C_a = \frac{I_t \times (i + d_{om})}{E_{act}} \quad (29)$$

$$i = \frac{a(1 + a)^n}{(1 + a)^n - 1} \quad (30)$$

Em que,

C_a é o custo unitário médio atualizado, em €/MWh;

E_{act} é a produção total atualizada, em MWh;

I_i é o investimento total no momento inicial, em €;

d_{om} é a percentagem dada ao valor para operação e manutenção (O&M), em %;

a é a taxa de atualização, em %;

n são os anos de vida útil posteriores ao início da exploração.

A equação (29) utiliza um modelo simplificado para o cálculo de C_a , e considera que o investimento é feito no início da exploração, produção de energia e O&M constantes ao longo da vida útil do sistema, que não existem encargos com combustível, e encargos com diversos são desprezáveis. Por experiência própria da empresa *Blastingfm*, os encargos com O&M (d_{om}), são considerados iguais a 0,5% do valor do investimento inicial. Tendo em conta que os módulos PV ao fim de 10 anos produzem a 90% da sua capacidade inicial, então o E_{act} representa a média da produção a energética anual (E_{ano}), durante os 25 anos.

Tabela 36 – Cálculo da E_{act} .

	10 anos	15 anos
	100% E_{ano}	90% E_{ano}
$E_{tot,PV}$ (MWh)	846	1142
E_{act} (MWh)	80	

O valor de E_{act} estimado na tabela a cima considera que E_{ano} vale 84,6 MWh, calculado em 7.4.3. Considerando a taxa de atualização (a) de 11% apresentada no Quadro 1 do Anexo B *Manual de análise de custos e benefícios dos projectos de investimento* [40] e que I_i igual a 79500 €, foram utilizadas as equações (29) e (30) para determinar o custo unitário médio C_a do sistema PV dimensionado. O valor obtido anda na ordem de 120 €/MWh ou aproximadamente 130 USD/MWh, de acordo com a taxa de câmbio EUR/USD registada do último dia do ano de 2015 (1,0858). Segundo *Table 2. Regional variation in levelized cost of electricity (LCOE²⁷) for new generation resources, 2020* [41], o custo unitário médio (ou LCOE) de um sistema PV instalado numa determinada região do planeta pode variar entre 97,8 e 193,3 USD/MWh, o que no caso do presente dimensionamento reflete ser um valor coerente com o intervalo reconhecido.

7.5 Metodologia II

Ao contrário da Metodologia anterior, o dimensionamento não é realizado em função de um limite de potência pico do sistema mas sim em função da área de cobertura disponível para instalação da unidade de produção, para isso foi realizada uma visita ao terraço do hotel para conhecer esse valor. Foi apurado que na cobertura do edifício existem dois blocos separados e distantes, com 49 m² cada, perfazendo um área útil total de cerca de 98 m². Esta metodologia é realizada no sentido do estudo real da instalação de uma UPAC no edifício do hotel. Uma vez que a área disponível é inferior à necessária para o sistema dimensionado em 7.4, é excluída a hipótese de existir excesso de produção, levando a um tempo de retorno do investimento mais curto possível, devido à maior valorização do kWh produzido pela UPAC.

²⁷ *Levelized Cost of Energy*

7.5.1 Sistema PV

Foi feito um dimensionamento para uma das duas coberturas do topo do edifício em que seria possível instalar módulos PV, com uma área disponível de 49 m². De acordo com o relatório disponibilizado pelo *PVsyst* (Anexo R), para área considerada, o sistema teria que ter no máximo 26 módulos PV, abordados em 7.2.1, com circuito correspondente composto por duas *strings* em paralelo, com 13 coletores em série cada. Nesta simulação é utilizada a opção disponibilizada pelo *software*, *Unlimited sheds*, que considera o efeito de sombreamento provocado pelos próprios módulos PV. O sistema teria uma P_{nom} de 7,41 kW_p em condições STC, e P_{op} igual a 6,61 kW_p em condições de operação (50°C). De acordo com o diagrama de perdas do sistema PV para autoconsumo ao longo do ano foi lhe conferida uma eficiência global de 14,87%, sendo expectável que este produza anualmente 12,4 MWh.

7.5.2 Componentes Físicos do Sistema

Nesta secção foram considerados os mesmos elementos e condições que em 7.4.2, no entanto neste dimensionamento apesar serão necessárias 9 estruturas de suporte, para instalar os 26 módulos.

7.5.2.1 Inversores

O inversor que melhor se adequa à P_{pico} do sistema é da marca SMA, do modelo *Sunny Boy 3600 TL-21*, escolhido pelo *PVsyst* no sentido da otimização do funcionamento da UPAC. Este modelo opera com uma tensão entre 175 e 500 V, e tensão nominal de entrada de 400 V, valor esse próximo do V_{mpp} de operação do conjunto de coletores. Será necessário dois inversores do modelo selecionado, perfazendo uma potência nominal de 7,36 kW, ligeiramente inferior à P_{pico} dos módulos.

7.5.2.2 Contador

Neste caso foram adotados os mesmos contadores que no subcapítulo 7.4.2.2.

7.5.3 Poupança energética esperada

Utilizando a equação (27) e segundo a tarifa média ponderada em 7.4.3 estima-se uma poupança anual de 904,2 € para os 12,4 MWh produzidos pela UPAC. Aplicando novamente a equação (2) e considerando o $V_{CIEG,m}$ terminado anteriormente foi obtido o valor de $C_{UPAC,m}$, correspondente à potência PV instalada, na ordem dos 14,15 €. Este valor multiplicado pelos 12 meses o ano perfaz um total de 169,8 € que retirado à poupança anual restam aproximadamente 730 €.

7.5.4 Período de Retorno simples de investimento

O período de retorno de investimento foi calculado a partir da equação (28), tendo em consideração que o valor da poupança anual na fatura da eletricidade proporcionada pelo sistema, calculada em 7.5.3.

Tabela 37 – Custo de obtenção dos componentes do sistema PV.

	Módulos	Inversores	Estrutura	Contador bi	Total
Unidades	26	2	9	2	–
Custo un. (€)	285	1540	126	240	–
Custo Total (€)	7410	3080	1134	480	12118

Como já foi referido anteriormente, segundo a *Blastingfm* ao valor total do investimento com os componentes da Tabela 37 deve ser adicionado mais 20% desse valor, para obter o custo do investimento inicial. Assim sendo C_{PV} tomou o valor de 14500 € e sendo P_{PV} igual a 730 € foi estimado o período de retorno de investimento de cerca de 19 anos e 5 meses.

7.5.5 Avaliação económica do sistema PV

Neste subcapítulo foi utilizada a mesma metodologia, a mesma taxa de atualização a e o mesmo valor de d_{om} que em 7.4.5. Mas neste caso considerou-se para E_{act} 12 MWh, para I_t 14500 €, obtendo assim um valor substancialmente mais elevado, na ordem de 150 €/MWh ou 162 USD/MWh. Mais uma vez foi obtido um valor reconhecido pela *U. S. Energy Information Administration* [41].

Capítulo 8 – Resultados e discussão

Qualquer setor ou instituição está apto a potenciar o seu sistema de gestão energética, através da implementação de normas que permitem um melhor desempenho energético. A norma 50001, desenvolvida pela Organização Internacional de Normalização (ISO), tem como principais matrizes estabelecer, melhorar e implementar alternativas energéticas mais eficientes, sem qualquer carácter obrigatório, mas, por outro lado, com inúmeros benefícios com relevância prática, entre os quais, a redução de custos e a minimização de impactes ambientais. Neste sentido, foi possível realizar um diagnóstico de um sistema energético pré-existente, *a priori*, que sustentasse o plano de implementação de medidas energéticas mais eficientes no edifício em particular. O plano de ação teve como enfoque a melhoria nos sistemas de iluminação e a supressão de problemas relacionados com sobreaquecimento em áreas específicas.

Numa primeira fase da implementação de iluminação LED, como esperado, existiu algum cepticismo relacionado com a fiabilidade desta tecnologia em relação ao investimento inicial que representa, contudo e graças a inúmeras referências teóricas nesta área, sabe-se que esta tecnologia tem vindo a melhorar gradualmente, alcançando um patamar em que o seu tempo de vida útil (em média 30 000 horas), o seu baixo consumo e a sua consequente redução de custos a torna superior em relação a outras tecnologias de iluminação comuns. Esta alteração de sistema de iluminação tinha como propósito demonstrar as vantagens, tanto a nível de custos como de energia consumida. Foi assim estimado que esta alteração irá resultar numa poupança anual na ordem dos 3100 € e também numa redução do consumo anual de energia eléctrica de cerca de 46 MWh. Este investimento apresenta um retorno do investimento inferior a dois anos. (Capítulo 5).

Com base na literatura consultada, foi perceptível que existem várias aplicações da tecnologia de filtros solares que possuem diferentes efeitos na radiação solar que atravessa os vãos envidraçados nos edifícios. A aplicação desta tecnologia, mais especificamente de películas, compreende uma redução de custos e de energia, já que algumas podem reduzir significativamente a necessidade de climatização, mantendo uma temperatura mais uniforme, melhorando desta forma o conforto do espaço, especialmente nos compartimentos com elevada exposição solar. Neste caso em particular, a aplicação de películas em áreas específicas do edifício, com problemas de sobreaquecimento, foi uma solução eficaz no controlo solar, que resulta numa redução anual estimada de cerca de 8,5 MWh em sistemas de climatização, o que se traduz numa poupança de cerca de 500 €. Este investimento tem um período de retorno simples de cerca 4 anos.

No âmbito de sistemas solares PV, existem dois tipos de instalações *On-Grid* e *Off-Grid*. Relativamente ao primeiro, sobre o qual recai este estudo, o sistema *On-Grid* está conetado à RESP e pode ser utilizado para autoconsumo minimizando o consumo de energia eléctrica, existindo a possibilidade de entrega de energia eléctrica produzida pelo sistema à rede. Neste sentido, a legislação atual portuguesa referente a produção de energia eléctrica obriga a que alguns sistemas, de acordo com a sua potência instalada, estejam ligados à rede e consumam o total da sua produção ou, se for o caso, vendam o excedente. No presente estudo constatou-se que no caso de edifícios de serviço, em específico na hotelaria, o perfil de consumo, normalmente constante durante dia, justifica a produção de energia para autoconsumo. A produção de energia autoconsumida vai permitir uma valorização da unidade de energia produzida pelo sistema, devendo-se ao facto do valor da tarifa comprada ser superior ao valor pago pelo OIME, aquando a venda à rede.

Foi dimensionada uma UPAC em função das características de consumo energético do hotel, de forma a garantir a inexistência de excedentes de produção e uma UPAC em função a área disponível. Na primeira metodologia, Metodologia I, considerou-se uma P_{pico} na ordem dos 50 kW_p, onde foi estimada uma capacidade de produção anual de energia eléctrica de 84,6 MWh, o que se traduz numa poupança anual na fatura na ordem dos 5000 €, valor que já considera a compensação paga pelo produtor sobre a exploração da UPAC. Relativamente ao *Payback* é

esperado um retorno do investimento de cerca de 16 anos. Na metodologia II, a área disponível da cobertura do edifício permite a instalação de dois sistemas PV independentes com P_{pico} igual a 7,4 kW_p, que representariam uma produção de energia anual na ordem dos 12,4 MWh cada, traduzida numa poupança anual de aproximadamente 1460 € no total, considerando os dois sistemas e mais uma vez a despesa com a compensação. Segundo o investimento necessário para a instalação do sistema dimensionado e o valor poupado anualmente, devido à energia auto consumida, estimou-se um período de retorno simples de investimento na ordem dos 19,5 anos.

Em todo o processo de implementação de medidas de racionalização do consumo de energia, foram tidas em conta a faturação do consumo de energia até à data, dessa forma foi possível estabelecer um panorama determinante que justificasse o aumento da eficiência da gestão energética do hotel e que garantisse a motivação dos intervenientes durante todo o processo de implementação. Assim, são esperadas melhorias financeiras e diminuição de consumo energético em todas as áreas de intervenção, resultando numa melhor eficiência energética global do hotel, sustentada por uma redução anual global prevista na ordem de 11% do consumo de energia elétrica e uma poupança cerca de 6% da fatura da eletricidade, que se irá traduzir em lucro após o PRS, aqui estão consideradas a substituição da iluminação pré-existente por tecnologia LED, a aplicação de películas em zonas de elevado sobreaquecimento e a implementação de sistemas solares PV.

Concluindo, a implementação das MRCEs referidas vão reflectir um aumento estimado de eficiência energética global do hotel, conferindo assim uma redução de aproximadamente 11% do consumo energético total, no período de um ano. No entanto prevê-se que exista uma discrepância de alguns resultados uma vez que a informação fornecida pelos fabricantes, apesar de fiável, é feita com base em condições de humidade e temperatura e com condições elétricas normalizadas, diferentes das condições climáticas e da instalação elétrica do hotel. Quanto ao período de retorno de investimento, verifica-se que as duas primeiras medidas implementadas podem obter um retorno relativamente rápido, comparativamente à terceira. Espera-se que a energia produzida pelo sistema PV seja abaixo do seu potencial, possivelmente devido à proximidade à costa e a condições meteorológicas como o nevoeiro, que reduzem inevitavelmente a irradiância no local, da implementação. Esta subprodução e a não consideração dos descontos sobre o custo de aquisição de material ou ajuda de fundos de apoio à realização do investimento reflete-se num período de retorno elevado.

A utilização de energia tem desempenhado um papel fulcral no desenvolvimento da sociedade, no entanto a utilização intensiva de energia também configura uma preocupação mundial. Nesse sentido, a legislação europeia vai de encontro ao aumento de eficiência energética, promovendo uma sociedade mais funcional com soluções energéticas mais sustentáveis. Uma gestão energética mais eficiente por parte de qualquer setor que integra a sociedade só lhe pode trazer reconhecimento tanto ambiental como tecnológico. No caso em particular, como em muitos outros casos, o hotel, não possui muitas áreas de possível intervenção porque apresenta consumos que dificilmente poderiam ser colmatados, dada a necessidade de renovação ou substituição dos sistemas energéticos e investimento em que essa alteração se traduziria. Contudo, é importante salientar que o hotel, apesar de ser um edifício recente, , em apenas 5 anos conseguiu encontrar uma solução mais eficiente do que a pré-existente, já que se prevê uma redução de cerca de 6% da fatura da eletricidade, o que reflete também a constante evolução tecnológica dos sistemas energéticos, que nos proporciona gradualmente soluções mais eficazes.

Referências

- [1] United Nations, “Probabilistic Population Projections based on the World Population Prospects: The 2015 Revision.” 2015.
- [2] CLUB OF ROME, “O Clube de Roma,” 2015. [Online]. Available: <http://www.clubofrome.org/>. [Accessed: 19-Dec-2015].
- [3] International Energy Agency, “Key World Energy Statistics 2014,” p. 82, 2014.
- [4] J. Goldemberg, “Pesquisa e desenvolvimento na área de energia,” 2000.
- [5] Fundação Francisco Manuel dos Santos, “Consumo de energia eléctrica: total e por tipo de consumo.” PORDATA, 2016.
- [6] PRESIDÊNCIA DO CONSELHO DE MINISTROS, “Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013,” *Diário da República*, 1.ª série — N.º 70, no. iii, pp. 6394–6397, 2010.
- [7] PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, “DIRETIVA 2012/27/UE,” *Jornal Oficial da União Europeia*, pp. 1–56, 25-Oct-2012.
- [8] Conselho Europeu de Bruxelas, “Conclusões da Presidência – Bruxelas, 8/9 de Março de 2007,” *Cons. da União Eur.*, vol. 53, pp. 1–23, 2007.
- [9] Organização Internacional de Normalização, “ISO 50001:2011.” 2012.
- [10] O. D. T. E. E. MINISTÉRIO DO AMBIENTE, “Decreto-Lei n.º 153/2014,” *Diário da República*, 1.ª série — N.º 202, pp. 5298–5311, 2014.
- [11] O. D. T. E. E. MINISTÉRIO DO AMBIENTE, “Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída,” pp. 1–29, 2014.
- [12] U.S. Department of Energy, “Lifetime and Reliability,” *Energy Effic. Renew. Energy*, p. 3, 2013.
- [13] US Department of Energy, “LED Color Characteristics,” *Energy Effic. Renew. Energy*, vol. Solid-Stat, 2012.
- [14] Seesmart, “How to Choose the Right LED Lighting Product Color Temperature,” 2010.
- [15] K. Nielsen, “Color Temperature and LED: Understanding How to choose LED Lamps for Warm and Cool Applications,” *BSE, Border States*, 2014. [Online]. Available: <http://solutions.borderstates.com/color-temperature-and-led-understanding-how-to-choose-led-lamps-for-warm-and-cool-applications>.
- [16] U.S. Department of Energy, “Lifetime of white LEDs,” *Energy Effic. Renew. Energy*, vol. 17, no. Energy Efficiency and renewable energy. Building technologies program. Pacific Northwest National Laboratory, pp. 50–51, 2009.
- [17] U.S. Energy Information Administration, “LED bulb efficiency expected to continue improving as cost declines,” *Independent Statistics & Analysis*, 2014. [Online]. Available: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=15471>.
- [18] Organização Internacional de Normalização, “ISO 13790:2008 Energy performance of buildings -- Calculation of energy use for space heating and cooling,” vol. 2007, no. 50, 2008.
- [19] *Diário da República*, “Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013,” no. 58, pp. 58–87, 2013.
- [20] MINISTÉRIO DA ECONOMIA E DO EMPREGO, “Decreto-Lei n.º 118/2013,” *Diário*

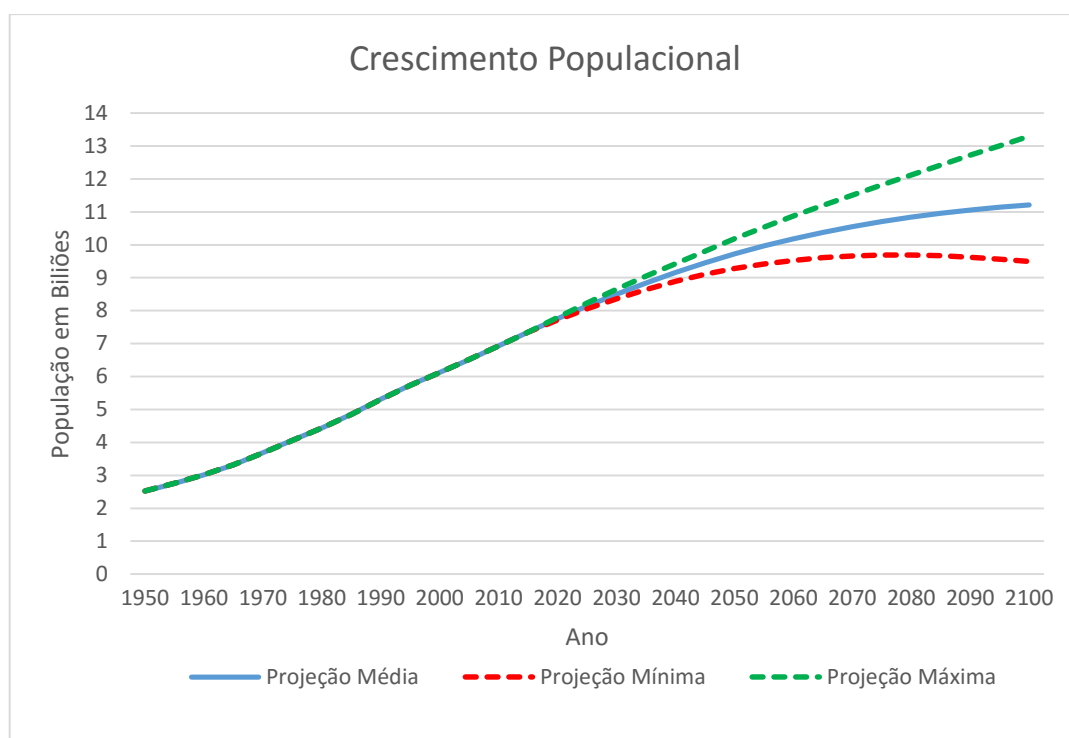
da República, 1.ª série — N.º 159, vol. 159, pp. 4988–5005, 2013.

- [21] U.S. Department of Energy, “ENERGY PERFORMANCE RATINGS FOR WINDOWS, DOORS, AND SKYLIGHTS,” 2015. [Online]. Available: <http://energy.gov/energysaver/energy-performance-ratings-windows-doors-and-skylights>.
- [22] U.S. Department of Energy, “WINDOW TYPES,” 2015. [Online]. Available: <http://energy.gov/energysaver/window-types>.
- [23] Efficient Windows Collaborative, “Window Technologies: Low-E Coatings,” 2015. [Online]. Available: <http://www.efficientwindows.org/lowe.php>.
- [24] John Wiley & Sons, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering, Second Edition*. 2011.
- [25] F. Vignola, F. Mavromatakis, and J. Krumsick, “Performance of PV Inverters,” *Am. Sol. Energy Soc. - Sol. 2008 Catch Clean Energy Wave*, pp. 628 – 650, 2008.
- [26] G. Stapleton and S. Neill, *GRID-CONNECTED SOLAR ELECTRIC SYSTEMS the earthscan expert handbook for planning, design and installation*, Earthscan. 2012.
- [27] ERSE, “TARIFAS E PREÇOS PARA A ENERGIA ELÉTRICA E OUTROS SERVIÇOS EM 2015 E PARÂMETROS PARA O PERÍODO DE REGULAÇÃO 2015-2017,” 2014.
- [28] Diário da República, “Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de Abril. Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE),” *Diário da República N.º 67, I série-A*, pp. 2416–2468, Lisboa, Portugal (in Portuguese), 2006.
- [29] B. Gaylord, “HALOGEN LAMPS - How They Work,” *The MGA With An Attitude*, 2012. [Online]. Available: <http://mgaguru.com/mgtech/universal/ut130.htm>.
- [30] American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., “Thermal Comfort,” in *ASHRAE handbook Fundamentals*, W. Stephen Comstock, 2009, pp. 9.1–9.30.
- [31] Diário da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-E/2013,” no. 41, pp. 41–54, 2013.
- [32] Diário da República, “Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 80/2006,” *Diário da República - I Série - A - n.º 67*, pp. 46(2468–2513), 2006.
- [33] The Engineering Toolbox, “Cooling Load Converting - kW/ton to COP or EER,” 2015. [Online]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/cop-eer-d_409.html.
- [34] Institute for Energy and Transport, “PVGIS,” *solar irradiation data*, 2012. [Online]. Available: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>.
- [35] NEGÓCIOS INTELIGENTES 7EXPERIENCE S.L., “efimarket - Soluções de Poupança Saudáveis,” 2015. [Online]. Available: <http://www.efimarket.pt/>.
- [36] J. Schmedtmann, “FF Solar - Energias Renováveis,” 2015. [Online]. Available: <http://www.ffi-solar.com/>.
- [37] FF SOLAR Energias Renováveis Lda., “Lista de Preços de Venda ao Público,” 2015.
- [38] Revosolar Shop - Clean Easy Free, “revosolar shop,” 2015. [Online]. Available: <http://revosolar.com/solar-shop/en/meters/163-smart-meter-cerm1.html>.
- [39] R. M. G. Castro, “INTRODUÇÃO À AVALIAÇÃO ECONÓMICA DE INVESTIMENTOS,” 2003.

- [40] Unidade responsável pela avaliação DG Política Regional Comissão Europeia, “Manual de análise de Custos e benefícios dos projectos de investimento,” p. 118, 2003.
- [41] U.S. Energy Information Administration, “Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2014,” *Indep. Stat. Anal.*, no. April, pp. 1–12, 2014.

Anexos

Anexo A Projeção do crescimento Populacional no Mundo



Anexo B Certificado energético do hotel

Anexo C Ficha técnica lâmpadas LED implementadas

LED Spotlights & Bulbs

LED BULB 3-6W



Item Nº	Socket	Power	Input voltage	FLUX	Light color	Life span	Dimensions
SP1110/SP1118/SP1119	MR16	3W	12V	240 lm	WH/WW/NW	>25.000 H	φ50x62 mm
SP1168/SP1169/SP1170	MR16	6W	12V	350 lm	WH/NW/WW	>25.000 H	φ50x53 mm
SP1223/SP1224/SP1225	GU10	3W	220V	200 lm	WH/WW/NW	>25.000 H	φ50x62 mm
SP1263/SP1264/SP1265	GU10	4W	220V	210 lm	WH/NW/WW	>25.000 H	φ50x60 mm
SP1266/SP1267/SP1268-DIM	GU10	4W	220V	210 lm	WH/NW/WW	>25.000 H	φ50x60 mm
SP1215/SP1216	GU10	5W	220V	400 lm	WH/WW	>25.000 H	φ50x60 mm
SP1269/SP1270/SP1271	GU10	6W	220V	350 lm	WH/NW/WW	>25.000 H	φ50x60 mm
SP1272/SP1273/SP1274-DIM	GU10	6W	220V	480 lm	WH/NW/WW	>25.000 H	φ50x60 mm
SP1163/SP1164/SP1167	MR16	4W	12V	320 lm	WH/WW/NW	>25.000 H	φ50x55 mm

LED Tubes

LED T8 TUBE 9-22W



Item Nº	Socket	Power	Input voltage	FLUX	Light color	Life span	Dimensions
TU5611/TU5612/TU5613	T8	9W	220V	> 720 lm	WH/WW/NW	>25.000 H	φ25x600 mm
TU5623/TU5624/TU5625	T8	18W	220V	> 1440 lm	WH/WW/NW	>25.000 H	φ25x1200 mm
TU5641/TU5642/TU5643	T8	22W	220V	> 1320 lm	WH/WW/NW	>25.000 H	φ25x1500 mm

Anexo D Imagem dos sistemas de iluminação intervencionados na garagem e quartos

Anexo E Imagem ilustrativa da película de sombreamento aplicada

É perceptível a reflexão provocada pela película de sombreamento, colocada nos vãos envidraçados sem mecanismos de sombreamento. A área aplicada, cerca de 100 m², corresponde então à área de vidro que se reconhece de cor diferente no primeiro andar do edifício.

Anexo F Potência de cada tipo de transformador e Potência transformadores mais lâmpada

Tipo de Transformador	<i>Tipo 1</i>	<i>Tipo 2</i>	<i>Tipo 1</i> + lâmpada 35 W	<i>Tipo 2</i> + lampada 35 W
Potência Medida (W)	0,3	8,1	32,8	42,9
	0,5	9,5	34,2	44,7
	0,8	8,7	33,5	44,9
	1,0	9,2	36,3	45,3
	0,7	8,4	36,9	43,5
Média	0,7	8,8	34,7	44,3

A fim de considerar a energia consumida pelos transformadores, foi desprezado ou considerado que os transformadores do *tipo 1* (electromagnéticos) têm potência residual, e os do *tipo 2* (ferromagnéticos) têm potência de carga de 9 W.



Anexo G Detalhes de faturação

Anexo H Ficha técnica película



CERTIFICADO DE QUALIDADE ISO 9001:2008 (CERTIFICADO GB95/5381)

Informação Técnica de acordo com EN410 e EN 673	vidro simples 4 mm	vidro duplo 4/16/4
Transmissão de Energia Solar	10%	9%
Reflexão de Energia Solar - Ext	62%	62%
Absorção de Energia Solar	28%	29%
Transmissão de Luz Visível	14%	13%
Reflexão de Luz Visível - Ext	65%	65%
Reflexão de Luz Visível - Int	61%	59%
Transmissão UV	<1%	<1%
Coef. Sombreamento (Valor b)	0,20	0,17
Emissividade	0,87	0,87
Valor U (EN 673 W/m²K)	5,70	2,8
Redução do Encandeamento	85%	86%
Valor g	0,17	0,13
Rejeição Total da Energia Solar	83%	87%
Cor da Película	Prata	
Espessura da película	60µ	
Proteção anti risco	Sim	

- ✓ Película refletora de proteção solar e privacidade: a solução ótima para edifícios expostos a ganhos solares excessivos e sujeitos a elevados custos com o arrefecimento.
- ✓ Tecnologia Hélios®: Polímero híbrido especial patenteado, com camada protectora anti-risco: incremento da longevidade da película e facilidade de limpeza.
- ✓ Melhoria significativa das condições de trabalho e do conforto devido à elevada redução dos ganhos solares excessivos.
- ✓ Redução do consumo de ar condicionado e redução dos custos energéticos, com **payback potencial inferior a 3 anos**.
- ✓ Redução de emissões de CO₂ em dezenas de toneladas/ano.
- ✓ Privacidade durante o dia – efeito “espelho” apenas num sentido (a maior reflexão da película é feita para o lado com maior intensidade luminosa).
- ✓ Excelente redução do Encandeamento, diminuindo reflexos e a tensão ocular.
- ✓ Excelente protecção UV, integrada na película de poliéster: redução da descoloração dos têxteis, mobiliário, pavimentos e objectos de arte.

GARANTIA: 10 anos para instalação exterior em vidros verticais e 5 anos para instalação exterior em vidros diagonais com grau de inclinação superior a 20° da horizontal e é válida contra descolagem, descasque, fissuras e alteração de cor. A selagem da película com silicone tipo Dow Corning 794 é obrigatória para validar a garantia. As películas LLumar usufruem das garantias descritas, desde a data da instalação por um Instalador Certificado e desde que o cliente garanta não sujeitar a película a produtos ou matérias contudentes, abrasivos, diluentes ou amónias.

Anexo I Ficha técnica módulo PV

Sunmodule[®] *Plus SW 285 mono*



Produced in Germany,
the center for solar technology



TUV Power controlled:
Lowest measuring tolerance in industry



Sunmodule Plus:
Positive performance tolerance



25 year linear performance warranty and
10 year product warranty



SolarWorld AG relies on Germany as its technology location, thereby ensuring sustainable product quality.

The TUV Rheinland Power controlled inspection mark guarantees that the nominal power indicated for solar modules is inspected at regular intervals and thus ensured. The deviation to TUV is maximum 2 percent.

The positive power tolerance guarantees utmost system efficiency. Only modules achieving or exceeding the designated nominal power in performance tests are dispatched. The power tolerance ranges between -0 Wp and +5 Wp.

With its linear performance warranty covering a period of 25 years, SolarWorld guarantees a maximum performance degradation of 0.7% p.a., a significant added value compared to the two-phase warranties common in the industry. Therefore, the service certificate offers comprehensive protection for your investment in the long term.



We turn sunlight into power.

www.solarworld.com

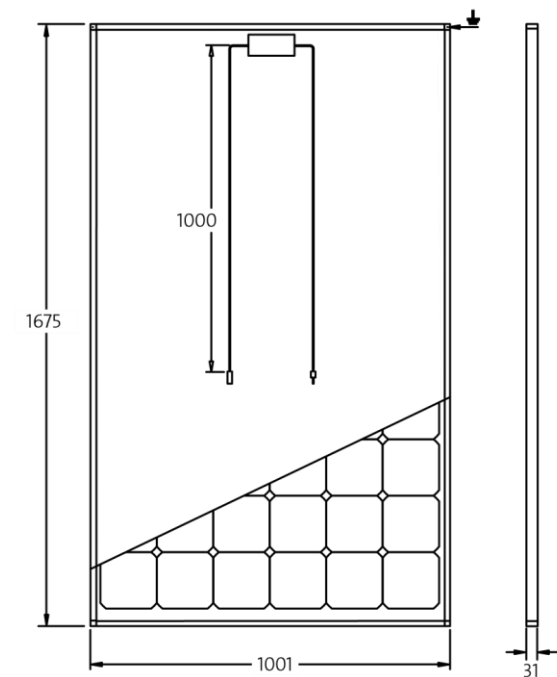
PERFORMANCE UNDER STANDARD TEST CONDITIONS (STC)*

		SW 285
Maximum power	P_{max}	285 W _p
Open circuit voltage	U_{oc}	39.7 V
Maximum power point voltage	U_{mpp}	31.3 V
Short circuit current	I_{sc}	9.84 A
Maximum power point current	I_{mpp}	9.20 A
Measuring tolerance (P_{max}) traceable to TUV Rheinland: +/- 2% (TUV Power controlled)		*STC: 1000W/m ² , 25°C, AM 1.5

PERFORMANCE AT 800 W/m², NOCT, AM 1.5

		SW 285
Maximum power	P_{max}	213.1 W _p
Open circuit voltage	U_{oc}	36.4 V
Maximum power point voltage	U_{mpp}	28.7 V
Short circuit current	I_{sc}	7.96 A
Maximum power point current	I_{mpp}	7.43 A

Minor reduction in efficiency under partial load conditions at 25°C: at 200 W/m², 100% (+/-2%) of the STC efficiency (1000 W/m²) is achieved.



DIMENSIONS

Length	1675 mm
Width	1001 mm
Height	31 mm
Frame	Clear anodized aluminum
Weight	21.2 kg

COMPONENT MATERIALS

Cells per module	60
Cell type	Mono crystalline
Cell dimensions	156 mm x 156 mm
Front	4 mm tempered glass (EN 12150)

THERMAL CHARACTERISTICS

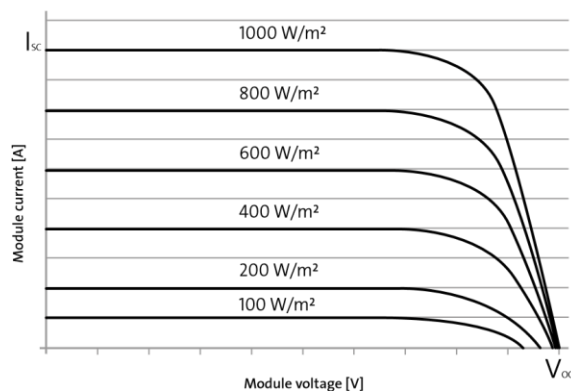
NOCT	46 °C
TC I _{sc}	0.040 %/K
TC U _{oc}	-0.30 %/K
TC P _{mpp}	-0.41 %/K

ADDITIONAL DATA

Power sorting	-0 Wp / +5 Wp
J-Box	IP65
Connector	MC4 / KSK4

PARAMETERS FOR OPTIMAL SYSTEM INTEGRATION

Maximum system voltage SC II	1000 V
Maximum reverse current	16 A
Load / dynamic load	5.4 / 2.4 kN/m ²
Number of bypass diodes	3
Operating range	-40 °C to +85 °C



SolarWorld AG reserves the right to make specification changes without notice. This data sheet complies with the requirements of EN 50380.



- Qualified, IEC 61215
- Safety tested, IEC 61730
- Periodic Inspection
- Blowing sand resistant



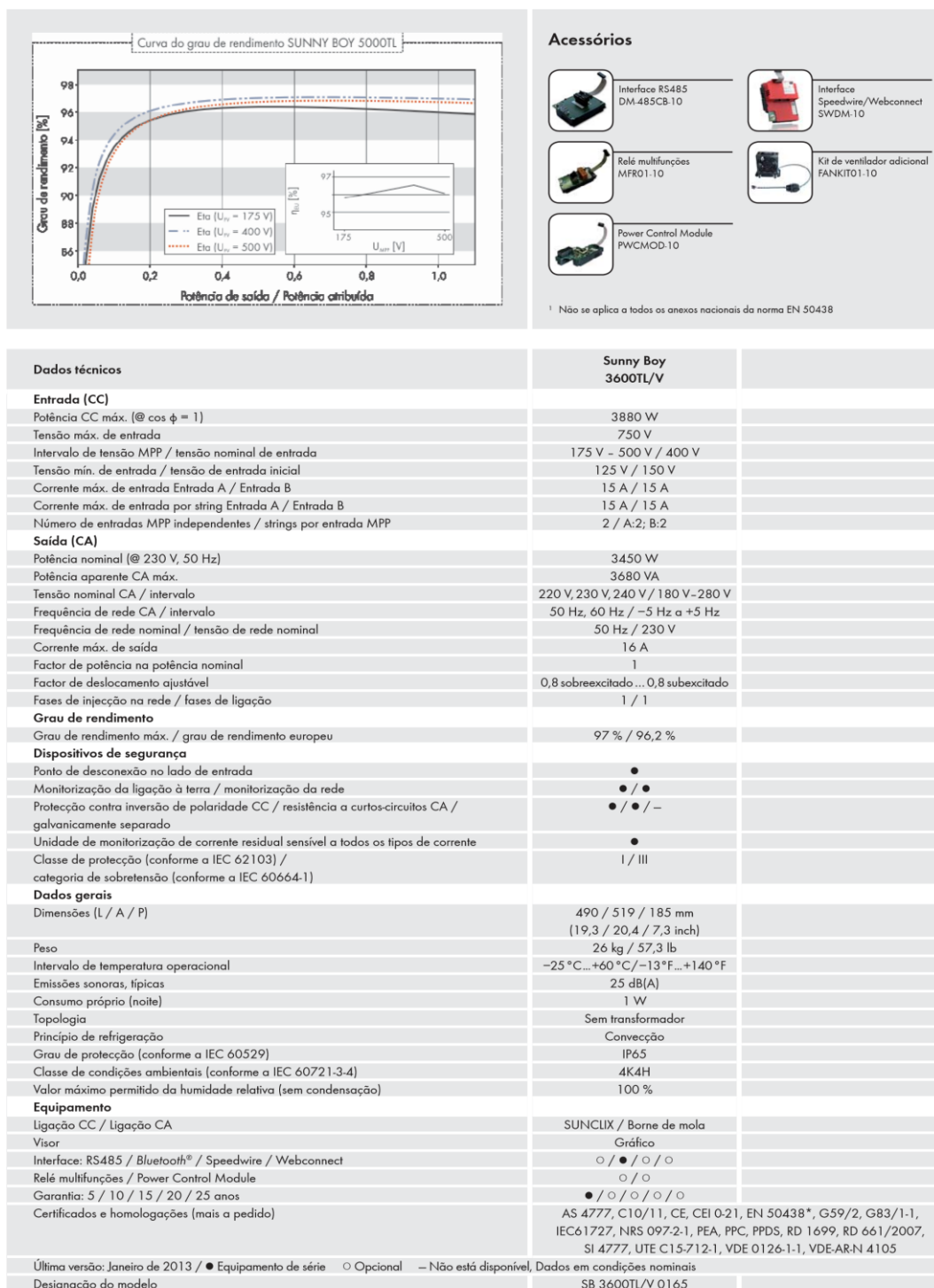
Anexo J Diagrama de carga hotel

	Acumulado	Diferença
Horas	kWh	kWh
7:15	427301	20
7:30	427322	21
7:45	427344	22
8:00	427366	22
8:15	427388	22
8:30	427408	20
8:45	427430	22
9:00	427450	20
9:15	427472	22
9:30	427494	22
9:45	427514	20
10:00	427533	19
10:15	427554	21
10:30	427576	22
10:45	427597	21
11:00	427620	23
11:15	427643	23
11:30	427667	24
11:45	427689	22
12:00	427711	22
12:15	427731	20
12:30	427753	22
12:45	427779	26
13:00	427800	21
13:15	427821	21
13:30	427844	23
13:45	427869	25
14:00	427895	26
14:15	427920	25
14:30	427946	26
14:45	427972	26
15:00	427996	24
15:15	428019	23
15:30	428042	23
15:45	428066	24
16:00	428089	23
16:15	428109	20
16:30	428130	21
16:45	428148	18
17:00	428168	20
17:15	428189	21
17:30	428207	18
17:45	428230	23
18:00	428250	20
18:15	428270	20
18:30	428290	20
18:45	428311	21
19:00	428331	20
	Mínimo	18

Anexo K Hourly maximum values for E_Grid [kW] PV 75 kW_p.

New simulation variant (PVsyst)																								
Hourly maximum values for E_Grid [kW]																								
	0H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	7H	8H	9H	10H	11H	12H	13H	14H	15H	16H	17H	18H	19H	20H	21H	22H	23H
January	0	0	0	0	0	0	0	0	20	42	55	60	60	60	59	49	28	1	0	0	0	0	0	0
February	0	0	0	0	0	0	0	0	21	44	57	60	60	60	60	51	36	16	0	0	0	0	0	0
March	0	0	0	0	0	0	0	9	28	45	57	60	60	60	60	51	37	17	2	0	0	0	0	0
April	0	0	0	0	0	0	2	14	32	49	60	60	60	60	58	49	34	17	3	0	0	0	0	0
May	0	0	0	0	0	0	4	12	32	46	58	58	60	58	53	44	30	14	5	0	0	0	0	0
June	0	0	0	0	0	0	5	11	27	40	50	56	58	56	52	43	32	15	5	2	0	0	0	0
July	0	0	0	0	0	0	5	10	27	42	52	56	58	57	52	43	30	15	5	2	0	0	0	0
August	0	0	0	0	0	0	3	12	29	44	53	57	58	57	53	44	31	16	5	0	0	0	0	0
September	0	0	0	0	0	0	1	13	33	47	57	60	60	60	56	46	31	16	2	0	0	0	0	0
October	0	0	0	0	0	0	0	13	32	48	58	60	60	60	54	43	27	9	0	0	0	0	0	0
November	0	0	0	0	0	0	0	1	27	46	57	60	60	60	54	42	22	1	0	0	0	0	0	0
December	0	0	0	0	0	0	0	0	23	42	54	60	60	60	53	43	27	0	0	0	0	0	0	0
Year	0	0	0	0	0	0	5	14	33	49	60	60	60	60	60	51	37	17	5	2	0	0	0	0

Anexo M Ficha técnica inversor Sunny Boy 3600 TL



SB3600TL/V0165 Sunny Boy é uma marca registada da SMA Solar Technology AG. Bluetooth® é uma marca registada da Bluetooth SIG, Inc. SUNCLIX é uma marca registada da PHOENIX CONTACT GmbH & Co. KG. O texto e as figuras correspondem ao estado técnico no momento da impressão. Reservados todos os direitos de propriedade intelectual. Não nos responsabilizamos por erros de impressão. Impresso em papel produzido sem cloro.

Anexo N Ficha técnica contador



Características Técnicas Del CERM 1 *Contador Monofásico Multifunción* *De Telegestión*

• METROLÓGICAS

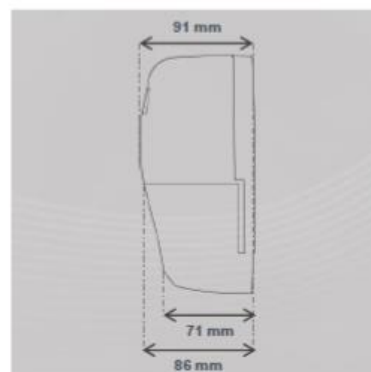
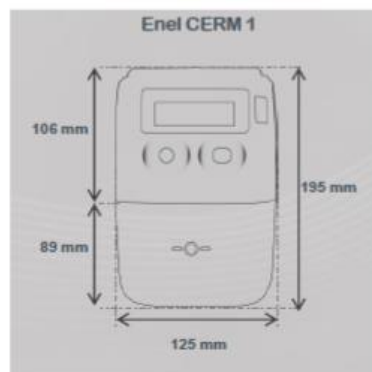
- Clase Activa B (según UNE-EN 50470-3)
- Clase Reactiva 2 (según UNE-EN 62053-23)
- $I_{\text{máx}}$ 60 A
- $I_{\text{mín}}$ 250 mA
- I_{ref} 5 A
- Rango de temperatura desde -25°C hasta +70°C
- Grado de protección IP 53 (según UNE-EN 60529)

• ELÉCTRICAS

- Tensión de referencia Certificado para 230V
- Tensión límite 440V (durante 6 horas)

• MECÁNICAS

- LED de verificación
- Puerto óptico de comunicaciones (según norma UNE EN 62056-21)
- Precinto de la tapa cubre-hilos con tornillo perforado y orificios.
- Pulsador de lectura
- Sensor que detecta la apertura y cierre de la tapa cubre hilos, incluso sin alimentación



Peso 1 000 gramos



Funciones Del CERM 1
Contador Monofásico Multifunción
De Telegestión

- **Medidas instantáneas**
 - Energía Activa: Absorbida / Cedida [kWh]
 - Energía Reactiva: Q1, Q2, Q3 y Q4 [kVAh]
 - Potencia Activa [kW]
 - Potencia Reactiva [Kva.]
 - Tensión eficaz [V]
 - Corriente eficaz [A]
 - Cos phi [-1 a 1]
 - Potencia media cuarto horaria [kW]
- **Posibilidad de dos contratos**
- **Hasta 6 periodos tarifarios y 3 cierres**
- **Reloj/calendario (según IEC/EN 62054-21 Par 7.5.2.2)**
- **Cambio de hora estacional automático**
- **Curvas de carga y de medida programables**
- **Medidas sincronizadas: registro de medidas para una fecha y hora determinadas**
- **Incorpora elemento de corte no accesible**
- **Permite el control de potencia así como el corte y la reconexión remotos**
- **Mecanismo para reposición manual**
- **Comunicaciones PLC integradas (según norma EN 50065-1:2002 banda A) – Protocolo Meters and More**
- **Encriptación/Autenticación**
- **Control de la calidad de suministro (según normativa vigente en España y EN 50160)**
- **Registro de eventos y alarmas**

Anexo O Detalhes das parcelas das equações (2) e (3)

$CIEG_i^p$ corresponde ao somatório do valor das parcelas i do CIEG, mencionadas no n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro, designadamente na alínea c), medido em € por kW, para o nível de tensão da respetiva UPAC, constante nos documentos de suporte da proposta de fixação de tarifas, publicados pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) para o ano $t-n$;

$CIEG_{i,h}^e$ corresponde ao somatório, da média aritmética simples do valor para os diferentes períodos horários h de cada uma das parcelas i dos CIEG, mencionadas no n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro, designadamente nas alíneas a), b), d), e), f), g), h), i), e j), medido em € por kWh, para o nível de tensão da respetiva UPAC, constante nos documentos de suporte da proposta de fixação de tarifas, publicados pela ERSE para o ano $t-n$;

i refere-se a cada uma das alíneas do n.º 1 do artigo 3.º da Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro;

h corresponde ao período horário de entrega de energia elétrica aos clientes finais, tal como definido na Portaria n.º 332/2012, de 22 de outubro;

t corresponde ao ano de emissão do certificado de exploração da respetiva UPAC.

O coeficiente de ponderação K_t assume os seguintes valores:

$K_t = 50 \%$, caso o total acumulado de potência instalada das UPAC, no âmbito do regime de autoconsumo, exceda 3 % do total da potência instalada de centro eletroprodutores do SEN;

$K_t = 30 \%$, caso o total acumulado de potência instalada de UPAC, no âmbito do regime de produção de eletricidade em autoconsumo, se situe entre os 1 % e 3 % do total da potência instalada de centro eletroprodutores do SEN;

$K_t = 0 \%$, caso o total acumulado de potência instalada de UPAC, no âmbito do regime de autoconsumo, seja inferior a 1 % do total da potência instalada de centro eletroprodutores do SEN.

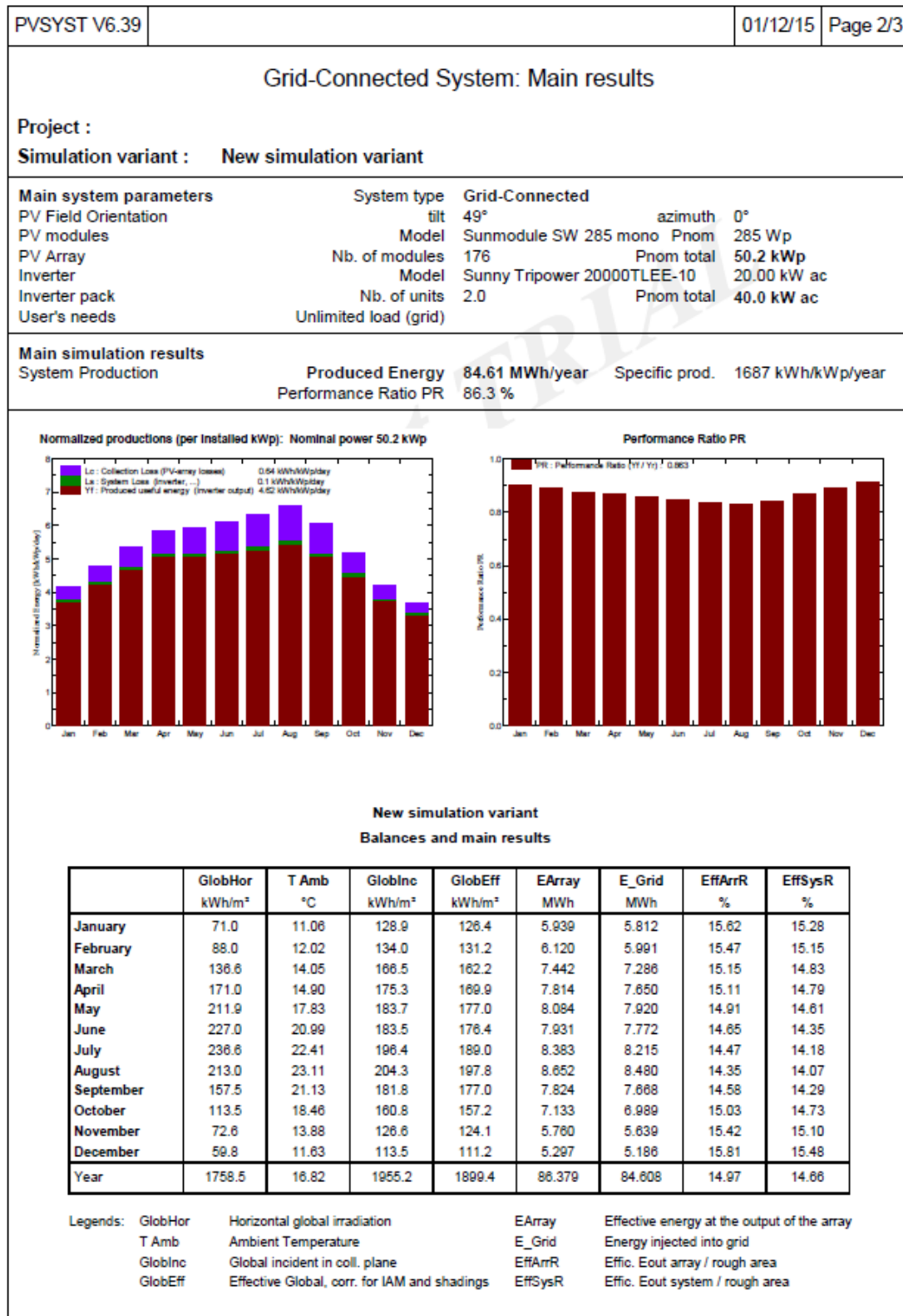
Anexo P **Imagens das cortinas *Blackout* instaladas no quarto *tipo***

Anexo Q Relatório Sistema PV (50 kW_p)

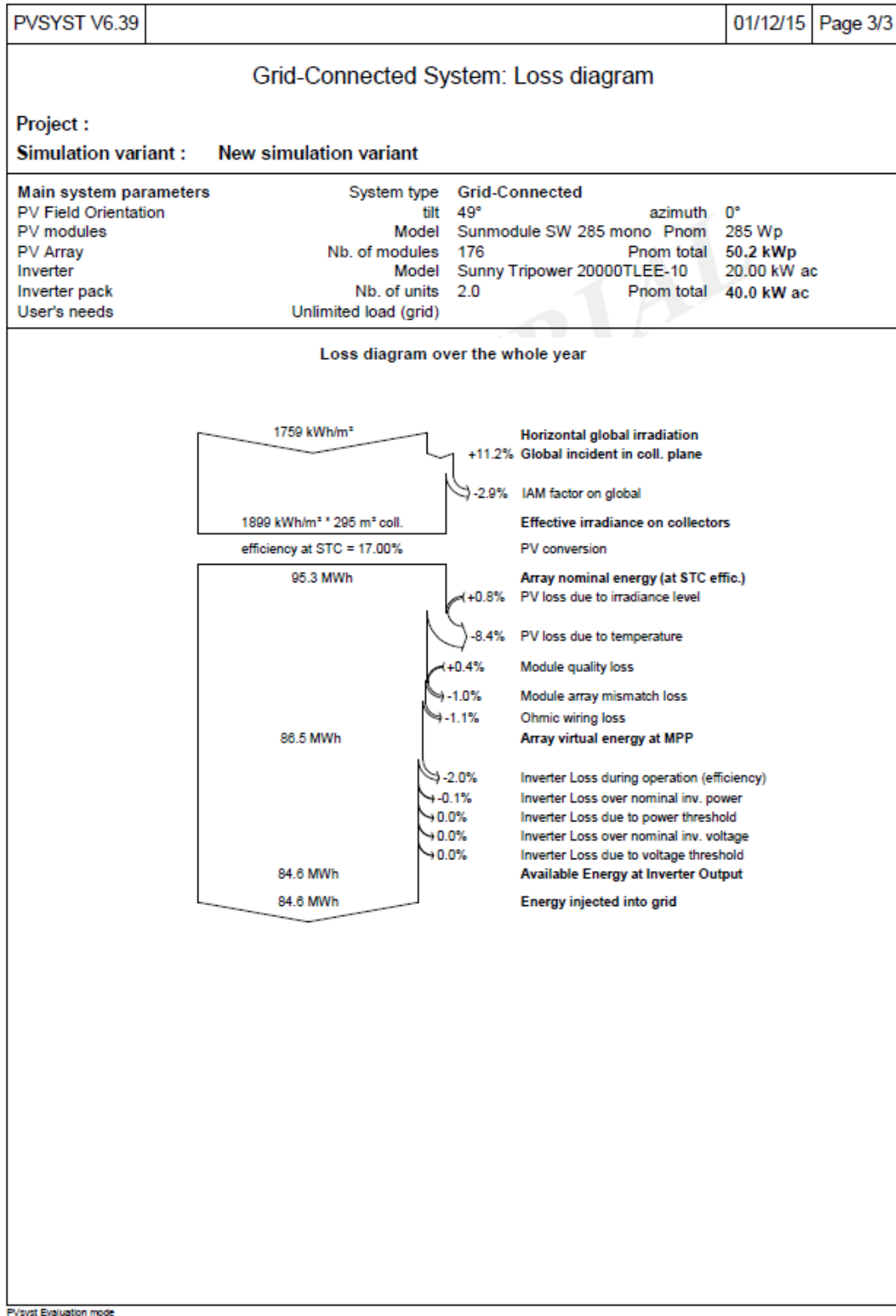
PVSYST V6.39		01/12/15		Page 1/3	
Grid-Connected System: Simulation parameters					
Project :					
Geographical Site					
Situation					
Time defined as					
Meteo data:					
Simulation variant : New simulation variant					
Simulation date 01/12/15 17h48					
Simulation parameters					
Collector Plane Orientation		Tilt	49°	Azimuth	0°
Models used		Transposition	Perez	Diffuse	Erbs, Meteonorm
Horizon		Free Horizon			
Near Shadings		No Shadings			
PV Array Characteristics					
PV module		Si-mono	Model	Sunmodule SW 285 mono	
Original PVsyst database			Manufacturer	SolarWorld	
Number of PV modules		In series	22 modules	In parallel	8 strings
Total number of PV modules		Nb. modules	176	Unit Nom. Power	285 Wp
Array global power		Nominal (STC)	50.2 kWp	At operating cond.	44.8 kWp (50°C)
Array operating characteristics (50°C)		U mpp	611 V	I mpp	73 A
Total area		Module area	295 m²		
Inverter					
		Model	Sunny Tripower 20000TLEE-10		
		Manufacturer	SMA		
Characteristics		Operating Voltage	580-800 V	Unit Nom. Power	20.0 kWac
Inverter pack		Nb. of inverters	2 units	Total Power	40 kWac
PV Array loss factors					
Thermal Loss factor		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (wind)	0.0 W/m²K / m/s
Wiring Ohmic Loss		Global array res.	140 mOhm	Loss Fraction	1.5 % at STC
Module Quality Loss				Loss Fraction	-0.4 %
Module Mismatch Losses				Loss Fraction	1.0 % at MPP
Incidence effect, ASHRAE parametrization		IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	bo Param.	0.05
User's needs : Unlimited load (grid)					

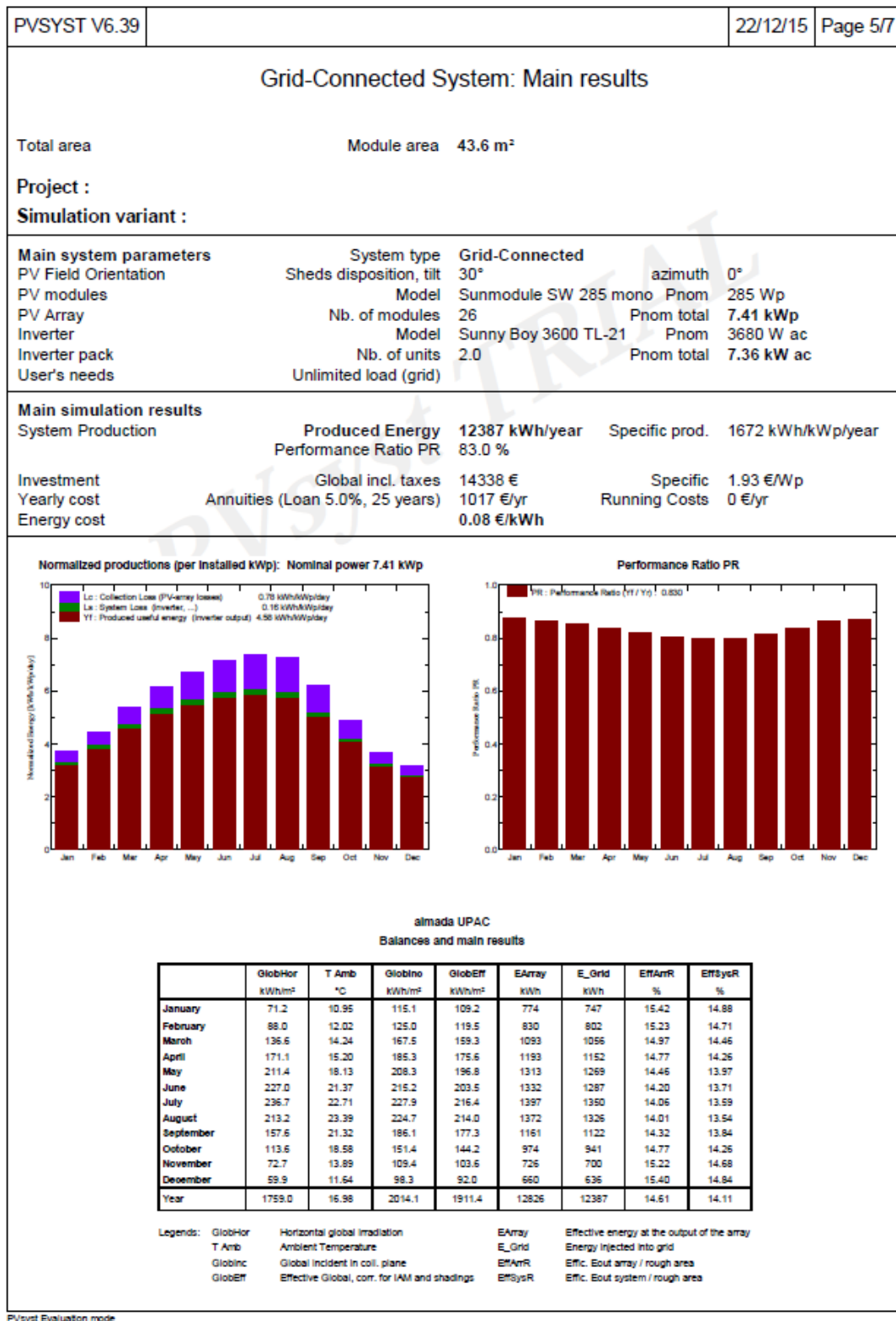
PVsyst Evaluation mode

PVsyst Evaluation mode



PVSyst Evaluation mode



Anexo R Relatório Sistema PV (7,4 kW_p)

PVSyst Evaluation mode

